

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інженерно-фізичний факультет

Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів

«На правах рукопису»
УДК 621.745.55

До захисту допущено
Завідувач кафедри
М. М. Ямшинський
(ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 136 – Металургія
(код та назва спеціальності)

на тему: **«Оптимізація технологічного процесу отримання поршнів із
сплаву АК12М2МгН»**

Виконав студент 6-го курсу, групи ФЛ-61м

Нечипоренко Іван Віталійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник

доцент, к.т.н., доц., Гурія І. М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант
з організаційно-
економічної
частини

к.е.н., ст.викл. Нараєвський С. В.
(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант
з нормоконтролю

к. т. н., доц., Федоров Г. Є.
(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент

доцент, к.т.н. Сухенко В.Ю.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 р.

механічних властивостей сплаву АК12М2МгН залежно від складу комплексного модифікатора (1 слайд). 6.7. Залежність механічних властивостей від кількості доданого модифікатора (1 слайд). 6.8. Поршні виготовлені із модифікованого сплаву АК12М2МгН (1 слайд). 6.9. Висновки (1 слайд). 6.10. Рекомендації (1 слайд). 6.11. Бізнес модель (1 слайд).

7. Перелік публікацій: 7.1. «Поршневі сплави в машинобудуванні» /Гурія І.М., Нечипоренко І.В./ Дев'ята міжнародна науково-технічна конференція. Нові матеріали і технології в машинобудуванні – 2017 (КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ). 7.2. «Оптимізація технологічного процесу отримання поршнів із сплаву АК12М2МгН» / Гурія І.М., Нечипоренко І.В./ Десята міжнародна науково-технічна конференція. Нові матеріали і технології в машинобудуванні – 2018 (КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ).

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Організаційно – економічна частина	Нараєвський С. В. старший викладач		
Нормоконтроль	Федоров Г.Є., доцент		

9. Дата видачі завдання 3 вересня 2016 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Результати НДРС	03.09.16...05.02.18 р.	
	Переддипломна науково- дослідна практика	05.02...14.03.18 р.	
2	Аналіз літератури за темою	06.02...02.03.18 р.	
3	Удосконалення методик дослідження	10.02...20.02.18 р.	
4	Проведення досліджень	14.03...15.04.18 р.	
5	Виявлення недоліків технологічного процесу	16.04...18.04.18 р.	
6	Розроблення технології оброблення розплаву	19.04...25.04.18 р.	
7	Оброблення результатів досліджень	26.04...15.05.18 р.	
8	Оформлення дисертації та презентації	15.05...20.05.18 р.	
9	Рецензування дисертації	21.05...23.05.18 р.	
10	Захист дисертації	22.05.2018 р.	

Студент

(підпис)

Нечипоренко І.В.
(прізвище та ініціали)

Науковий керівник

(підпис)

Гурія І.М.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 97 с., 8 рис., 17 табл., 35 посилань, додатків 1.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення поршнів із сплаву АК12М2МгН.

Мета роботи – оптимізація технологічного процесу виготовлення поршнів із сплаву АК12М2МгН на базі АТ «Полтавський турбомеханічний завод».

Предмет дослідження – спосіб введення ультрадисперсних частинок нітридів і карбонітридів в металевий розплав за допомогою механічної суміші фторцирконату калію й нітриду, і сплавленої суміші фторцирконату калію, хлориду марганцю й нітриду титану.

Методи дослідження – у роботі використано сучасні методики визначення властивостей сплавів.

Результати досліджень – оптимізовано технологічний процес та запропоновано технологію оброблення розплаву за допомогою способу введення ультрадисперсних частинок нітридів і карбонітридів в металевий розплав за допомоги механічної суміші фторцирконату калію й нітриду, і сплавленої суміші фторцирконату калію, хлориду марганцю й нітриду титану.

Вивчено вплив рафінувальних та модифікувальних елементів на комплекс ливарних, механічних, експлуатаційних властивостей та структуру поршневих сплавів, що дозволило отримати без дефектні виливки.

Значущість роботи – на підставі результатів досліджень запропоновано і впроваджено технологічний процес отримання поршнів із сплаву АК12М2МгН.

Галузі застосування – автомобілебудівна промисловість.

Прогнозні припущення – запропонований технологічний процес виготовлення поршнів із сплаву АК12М2МгН може бути використаний в умовах масового виробництва.

АЛЮМІНІЄВІ СПЛАВИ, ПОРШНЕВІ СПЛАВИ, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, ЕВТЕКТИЧНІ СПЛАВИ.

ABSTRACT

Master's thesis: 97 p., 8 fig., 17 tab., 35 references, applications 1.

Object of study – the technological process of manufacturing pistons from the AK12M2MgN alloy.

The aim of the work – optimize the technological process of production pistons from the AK12M2MgN alloy on the basis of JSC Poltava turbomechanical plant.

Subject of study – a method of introducing ultrafine particles of nitrides and carbonitrides into a metallic melt with the help of a mechanical mixture of potassium fluorocysine and nitride, and a fused mixture of potassium fluorocysine, manganese chloride and titanium nitride.

Research methods – modern methods of determining the special properties of alloys are used in the work.

Research results – optimize the technological process and proposed a technology for melt treatment with the method of introducing ultrafine particles of nitrides and carbonitrides into a metallic melt with the help of a mechanical mixture of potassium fluorocysine and nitride, and a fused mixture of potassium fluorocysine, manganese chloride and titanium nitride.

The influence of refining and modifying elements on the complex of foundry, mechanical, operational properties and structure of piston alloys has been studied, which allowed to obtain without defective castings.

Urgency of the research – based on the results of the research, the technological process of obtaining pistons from the AK12M2MnN alloy was proposed and introduced.

Branch of production – automotive industry.

Projected assumptions – the proposed technological process of manufacturing pistons from the AK12M2MgN alloy can be used in massive production.

ALUMINIUM ALLOYS, POWDER ALLOYS, MECHANICAL PROPERTIES, EQUIPMENT ALLOYS.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ	10
1.1 Поршень як важливий елемент двигунів	10
1.2 Сучасні матеріали для виготовлення поршнів	13
1.3 Проблеми при використанні поршневих сплавів	18
1.4. Методи підвищення якості поршневих сплавів.....	21
1.5 Вихідні матеріали для поршневих сплавів	37
1.6 Висновки та постановка завдання дослідження	42
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	44
2.1 Технологія плавки сплаву	44
2.2 Методика дослідження зразків	46
2.3 Висновки до розділу 2.....	48
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	49
3.1 Результати проведених досліджень.....	49
3.2 Вибір типу частинок і технологія отримання модифікатора	55
3.3 Вибір оптимальної кількості модифікатора.....	59
3.4 Комплексний модифікатор для саплаву АК12М2МгН	62
3.5 Висновки до розділу 3	65
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО – ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	66
4.1 Науково-технічна актуальність теми дослідження	66
4.2 Мета і завдання НДР	67
4.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження	67
4.3.1 Визначення заробітної плати науково-дослідницького персоналу	68
4.3.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску.....	70
4.3.3 Визначення вартості матеріалів і напівфабрикатів для виконання НДР	70
4.3.4 Визначення вартості спеціального обладнання і приладів	71
4.3.5 Визначення вартості робіт і послуг сторонніх організацій	71
4.3.6 Визначення витрат на службові відрядження	71

	7
4.3.7 Визначення інших прямих неврахованих витрат	71
4.3.8 Визначення накладних витрат	71
4.3.9 Визначення планової кошторисної вартості НДР.....	72
4.4 Визначення очікуваних результатів НДР та розрахунок показників економічної ефективності.....	73
4.5 Висновки до розділу 4.....	76
5 БІЗНЕС-ПРОЕКТ	77
5.1 Склад команди.....	77
5.2 Назва проекту	77
5.3 Короткий опис проекту.....	77
5.4 Бізнес-модель.....	78
5.4.1 Цінний продукт.....	78
5.4.2 Сегмент споживачів	78
5.4.3 Канали збуту	78
5.4.4 Взаємодія із споживачами.....	78
5.4.5 Прибуток (монетизація)	79
5.4.6 Ключові види діяльності	79
5.4.7 Ключові ресурси	79
5.4.8 Ключові партнери.....	79
5.4.9 Витрати	79
5.5 Споживчі властивості товару	80
5.6 Дослідження ринку	80
5.7 Дослідження конкурентного оточення	80
5.8 Маркетингова стратегія просування	81
5.9 Елементи фінансового плану	81
5.9.1 Опис бізнес – проекту	81
5.9.2 Опис товару/ послуги/ технології	81
5.9.3 Маркетинг та продаж	82
5.9.4 Фінансовий план.....	82
5.9.5 Резюме.....	83
5.10 Висновки до розділу 5.....	85

	8
ВИСНОВКИ	86
РЕКОМЕНДАЦІЇ	87
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	88
Додаток А	92

ВСТУП

Поршень є найбільш відповідальною деталлю в двигуні сучасного автомобіля. До поршня ставляться такі вимоги – легкість, міцність, здатність витримувати значні механічні навантаження і теплові удари, висока зносостійкість робочих поверхонь, низьке тертя при мінімально можливому зазорі в циліндрі [1].

Зарубіжні поршневі сплави марок FM B2 і FM S2N на сьогоднішній день чудово відповідають зростаючим вимогам автомобільної промисловості. Поршні, виготовлені з цих сплавів, за своїми характеристиками на порядок вище вітчизняних поршнів, вироблених з поршневих сплавів марок АК12М2МгН, АК12ММгН або АК10М2Н.

Зарубіжні аналоги менше за розміром, легше, міцніше. Витримують набагато більші механічні та теплові навантаження, мають дуже високу зносостійкість. За своєю собівартістю вони дорожче через те, що при їх отриманні застосовується модифікування ванадієм, цирконієм і фосфором.

Як відомо, поршень працює в дуже складних умовах високого тиску і температур, відчуваючи при цьому величезні навантаження. Тому актуальним є завдання мінімізації дефектів газоусадкового походження, які унеможливають якісну роботу поршнів.

Закордонні виробники сплавів на основі алюмінію, на відміну від вітчизняних, посилюють вимоги до їх хімічного складу. Зменшують інтервали варіювання концентрації основних елементів і знижують вміст шкідливих домішок, що дає можливість отримання більш якісного поршня.

У роботі розглянуті питання, які пов'язані з технологічним процесом виготовлення поршнів із сплаву АК12М2МгН, хімічного складу вхідних шихтових матеріалів, мікроструктурного аналізу, рентгеноструктурного аналізу, вплив процесів рафінування, модифікування на властивості металу та його структуру.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Поршень як важливий елемент двигунів

Однією з найголовніших і найбільш напружених деталей в двигуні є поршень (рис.1). Він витримує механічні навантаження від сил руху газів і сил інерції, а також теплові навантаження від стикання днища з гарячими газами і тертя його бокової поверхні об стінки циліндра. Від якості роботи даної деталі безпосередньо залежить продуктивність двигуна, а також його надійність і довговічність [1].



Рисунок 1.1 – Поршні для двигунів.

Поршень передає енергію згорання палива через палець і шатун колінчастого валу. Він разом з кільцями ущільнює циліндр від попадання продуктів згорання в картер. Під час роботи на поршень діють високі механічні і теплові навантаження.

Максимальний тиск в циліндрі, що виникає при згорянні паливно-повітряної суміші, може досягати 65...80 бар в бензиновому двигуні і 80...160 бар в дизелі. Це еквівалентно силі в кілька тонн, що діє на поршень двигуна легкового автомобіля і в десятки тонн – на поршень важкого дизеля [1].

Під час роботи поршень здійснює зворотно-поступальний рух, періодично прискорюючись до швидкості більше 100 км/год, а потім вповільнюючись до нуля. Такий цикл відбувається з подвоєною частотою обертання колінчастого валу,

тобто при 6000 об/хв цикл прискорення-уповільнення відбувається з частотою 200 Гц.

Максимальна величина прискорень, яка припадає на верхню і нижню мертві точки, може досягати $15000...20000 \text{ м/с}^2$, що відповідає перевантаження 1500...2000 g. Від дії прискорень виникають інерційні сили за величиною сумірні з тими, що діють від тиску при згорянні.

Згоряння паливо-повітряної суміші відбувається при температурі 1800...2600°C. Ця температура значно перевищує температуру плавлення поршневого сплаву на основі алюмінію ($\sim 700^\circ\text{C}$). Щоб не розплавитися, поршень повинен ефективно охолоджуватися, передаючи тепло від камери згоряння через кільця, спідницю, стінки циліндра, палець і внутрішню поверхню охолоджуючої рідини і масла. При нагріванні поршня відбувається зниження межі міцності матеріалу, виникають термонапруження від перепадів температури по його тілу, які накладаються на напруги від сил тиску газів і інерційних сил [1].

Щоб поршень протистояв цим діям, він повинен бути легким, міцним, зносостійким, добре проводити тепло. Всі перераховані умови повинні бути враховані при проектуванні. Форма внутрішніх поверхонь і конструктивних елементів поршня повинна забезпечувати задану міцність і працездатність за рахунок раціонального розподілу і використання матеріалу.

Особливу увагу приділено формі зовнішньої поверхні. Зовнішній профіль бічної поверхні поршня формується з урахуванням деформацій від механічних навантажень і теплового впливу від згорання паливо-повітряної суміші таким чином, щоб ні за яких умов не відбулося заклинювання в циліндрі, прорив гарячих газів в картер, прогорання камери згоряння [2].

Температура поршня в зоні камери згоряння вище, ніж на спідниці, температурне розширення головки більше ніж спідниці, тому поршень в холодному стані – бочкоподібний, зі зменшенням діаметра від спідниці до головки.

Зазори між поршнем і циліндром повинні бути зведені до мінімуму для запобігання шуму, особливо в холодному двигуні. Але вони повинні бути достатніми для запобігання заклинювання при роботі прогрітого двигуна.

Бочкоподібна і овальна форма зовнішньої поверхні крім компенсації відповідних деформацій від силового і теплового впливу забезпечує утворення масляної плівки між поршнем і циліндром [2].

В камері згоряння найвищу температуру мають гази, а найнижча температура у навколишнього автомобіль-повітря, що потрапляє всередину через радіатор, призводить до зниження температури охолоджувальної рідини, циліндрів і корпусу головки.

Якщо розглядати процес тепловіддачі на спортивних моторах, то необхідно згадати, що теплоємність паливної суміші залежить від складу, тобто від частки палива. Чим більше ця частка, тим більше тепла потрібно для його випаровування. Часто, щоб нормалізувати роботу мотора використовують маленьке збагачення суміші, тобто трохи збільшують концентрацію палива. Це призводить до незначного зниження внутрішньої температури [3].

Найбільшу увагу необхідно приділяти передачі тепла через кільця, так як це найбільш ефективний метод охолодження. Якщо цей шлях охолодження буде перекритий, то двигун просто не витримає, особливо якщо він працює в форсованому режимі, так як температура швидко підніметься, поршні почнуть плавитися і двигун зруйнується. Також при цьому не варто забувати про такий популярний параметер автомобіля як компресія. Особливо це актуально для старих автомобілів. Так як цей параметр побічно вказує на рівень не щільності поршнів, який значно впливає на теплопередачу. Якщо кільце та циліндр не торкаються один з одним. У цьому випадку при згорянні, тепло проникає у цей проміжок і не дає охолоджуватися поршням.

Ще гірше буде, якщо у кільця не буде щільного контакту з канавкою. Так як якщо буде можливість витоку газу через канавку, то в цьому місці поршень не буде охолоджуватися. В результаті цього утворюється прогар. Тому потрібно приділяти дуже багато уваги геометрії циліндра, кілець і стану канавки. Так як з-за цього можуть виникати локальні теплові перевантаження, які призводять до зниження надійності і жорсткості. Саме тому, після заміни кілець або перегільзовки блоку під старі, двигуни швидко виходять з ладу. І тому, першим

руйнується той циліндр, який має меншу компресію, особливо це стосується спортивних автомобілів [3].

При визначенні кількості кілець в новому поршні і їх товщини дивлячись на це з механічної точки зору, то чим їх менше, тим краще і чим менше їх ширина, тим менше втрати. Але при зменшенні кількості і висоти, знижується і рівень охолодження поршнів. Особливо якщо справа стосується швидкохідних двигунів, так як чим швидше мотор, тим менші вимоги до ущільнення і тим більші механічні втрати. Тому їх потрібно зменшувати, інакше вся додаткова потужність не дійде до ходової частини автомобіля. При цьому виробляється більше тепла, а значить і для охолодження потрібно більш широкий місток. Тому, все завдання лягає на плечі конструктора, яким потрібно зробити якомога більш збалансований двигун [3].

Інженерами накопичено досить багато інформації яку постійно використовують для передбачення діапазону температур і інших характеристик конкретного виробу. Але все це доступно тільки в наукових лабораторіях і виробничих центрах великих компаній зі світовим ім'ям. Тому в більшості тюнінгових майстерень фахівці просто не мають можливості зробити правильні теплові розрахунки, не кажучи вже про самотійних спробах автолюбителів, так як це дуже складно [2].

1.2 Сучасні матеріали для виготовлення поршнів

До сучасних матеріалів, що застосовуються для виготовлення поршнів автомобільних двигунів, висуваються такі вимоги:

- висока механічна міцність і стабільність її показників при підвищеній температурі і змінних навантаженнях;
- мала щільність;
- хороша теплопровідність;
- малий коефіцієнт лінійного розширення;
- стійкість проти корозії;

- високі антифрикційні властивості при підвищеній температурі;
- невелика вартість і добре обробляється [1].

Для виготовлення поршнів в даний час в основному використовують алюмінієві сплави, рідше сірий або ковкий чавун, магнієві сплави, сталь, а також композиційні матеріали.

Алюмінієві сплави мають малу щільність, що дозволяє знизити масу поршня і зменшити інерційні навантаження на елементи циліндропоршневої групи і КШМ. При цьому спрощується також проблема зменшення термічного супротиву елементів поршня, що в поєднанні з хорошою теплопровідністю, властивої даними матеріалами, дозволяє зменшувати теплонапруженість деталей поршневої групи. До позитивних якостей алюмінієвих сплавів слід віднести малі значення коефіцієнта тертя в парі з чавунними або сталевими гільзами [4].

Однак поршням з алюмінієвих сплавів властивий ряд серйозних недоліків, основними з яких є невисока втомна міцність, зменшується при підвищенні температури, високий коефіцієнт лінійного розширення, менша, ніж у чавунних поршнів, зносостійкість, порівняно велика вартість.

У даний час при виготовленні поршнів використовують два види силумінів: евтектичних з вмістом кремнію 11...14 % і заевтектичних – 17...25 % [4].

Збільшення вмісту Si в сплаві призводить до зменшення коефіцієнта лінійного розширення, до підвищення термо- і зносостійкості, але при цьому погіршуються його ливарні якості і зростає вартість виробництва.

Для поліпшення фізико-механічних властивостей силумінів в них вводять різні легуючі добавки. Добавка в алюмінієво-кремнієвий сплав до 6 % міді призводить до підвищення втомної міцності, покращує теплопровідність, забезпечує гарні ливарні якості і, отже, меншу вартість виготовлення. Однак при цьому дещо знижується зносостійкість поршня. Використання в якості легуючих добавок натрію, азоту, фосфору збільшує зносостійкість сплаву. Легування нікелем, хромом, магнієм підвищує жароміцність і твердість конструкції [5].

Заготовки поршнів з алюмінієвих сплавів отримують шляхом лиття в кокіль або гарячим штампуванням. Після механічної обробки вони піддаються термічній

обробці для підвищення твердості, міцності і зносостійкості, а також для попередження викривлення при експлуатації. Ковані поршні поки використовуються рідше, ніж литі.

Чавун як матеріал для поршнів в порівнянні з алюмінієвим сплавом володіє наступними позитивними властивостями: більш високими твердістю і зносостійкістю, жароміцністю, однаковим коефіцієнтом лінійного розширення з матеріалом гільзи. Останнє дозволяє істотно зменшити і стабілізувати по режимам роботи зазори в з'єднанні спідниці поршня - циліндр. Однак велика щільність не дозволяє використовувати його широко для поршнів високооборотних автомобільних двигунів. Даний недолік може бути частково знівельованим включенням в структуру чавуну кулястого графіту, що дозволяє відливати елементи поршня істотно меншої товщини. Як впливає зі сказаного вище, ні силуміну, ні чавун в повній мірі не є оптимальними матеріалами для виготовлення поршнів [5].

У зв'язку з цим в даний час ведеться активна робота по використанню для поршнів керамічних матеріалів, які найкращим чином відповідають вимогам, що пред'являються до матеріалів поршневої групи.

Один з практичних способів використання кераміки полягає у виготовленні деталей поршня з металу або полімерокомпозиційних матеріалів. Матрицею першого типу матеріалів є алюміній або магній, а в якості наповнювача використовують керамічні та металеві порошки або волокна пористих матеріалів. Основу полімерокомпозиційних матеріалів складають полімерні матеріали з наповнювачем з волокон вуглецю, скла, порошоків металів або кераміки. Вони володіють малою щільністю, високими антифрикційними властивостями і застосовуються для елементів з невеликими тепловими навантаженнями, наприклад для виготовлення спідниці поршня.

Перспективним є армування елементів поршня керамічними волокнами з оксиду алюмінію та діоксиду кремнію.

При утриманні в основному матеріалі до 40...50 % оксиду алюмінію виходить аморфне керамічне волокно з діаметром 2...3 мкм, успішно працююче

при температурі 1200...1300°C. Якщо вміст оксиду алюмінію перевищує 70 %, виходить структура волокна, що наближається до кристалічної, що сприяє високій термічній стабільності виробу.

Втратили практичну цінність і поршні з магнієвих сплавів, основу яких становить магній, сплавлений з 5...10 % алюмінію. Такі сплави відрізняються малою питомою вагою ($1,8 \text{ г/см}^3$, або $1,8 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^3$), але не мають потрібної міцності. Поршні з магнієвих сплавів використовуються для гоночних автомобілів.

Сталеві поршні для дизельних двигунів легкових автомобілів переконують своїми відмінними характеристиками і вражаючим потенціалом зниження викидів CO_2 . Заходи по зниженню витрати палива і тим самим рівня викидів CO_2 засновані на зменшенні механічної потужності тертя, оптимізації процесів згорання і застосуванні легких конструкцій [2].

Для виготовлення поршнів двигунів багатьох типів, насамперед автомобільних і тракторних, методом лиття в кокіль застосовуються евтектичні силуміни типу АК12М2МгН (11...13 % Si) і заевтектичних, які містять присадки міді, нікелю, магнію і марганцю. Поршні штампують із сплавів АК4 і АК4-1, що відрізняються високими властивостями міцності при підвищених температурах.

Незважаючи на те, що маса поршнів з алюмінієвого сплаву менше маси поршнів з чавуну, останній також застосовується для виготовлення поршнів швидкохідних двигунів. З легованого сірого і високоміцного чавунів типів СЧ 24-СЧ 45 і ВЧ 45-5 виготовляють поршні форсованих тепловозних і середньооборотних двигунів. При підвищеній в порівнянні з алюмінієвими сплавами температурі плавлення чавуну усувається обгорання кромки на поверхнях, повернутих до камери згорання.

У поршнях для виготовлення головки застосовують жаростійкі сталі типу 20ХЗМВФ. На виготовлення зі сталі переходять, якщо максимальна температура в найбільш нагрітих зонах поршня перевищує орієнтовно 450°C. У ряді випадків (накладки поршнів двотактних двигунів) застосовують високолеговані жароміцні

стали. У табл. 1.1 наведені деякі теплофізичні і механічні характеристики ряду матеріалів поршнів з урахуванням залежності їх від температури [5].

Таблиця 1.1 – Фізичні і механічні властивості матеріалів поршнів.

Параметри	Сталь 20Х3МВФ							Алюмінієвий сплав АК4				
Температура, °C	20	200	300	400	450	500	600	20	100	200	300	370
Модулю пружності, $E \cdot 10^{-5}$ МПа	2,07	2,0	1,93	1,86	-	1,77	1,64	0,7	0,67	0,64	0,55	0,39
Коефіцієнт лінійного розширення, $\alpha_\gamma \cdot 10^6$, 1/°C	10,0	-	-	12,3	-	12,7	13,8	21,2	21,8	22,6	24,3	24,6
Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м*°C)	38,5	33,1	31,4	30,6	-	29,7	29,3	146,5	151	159	167	-
Межа міцності σ_m МПа	890	800	800	740	660	640	500	383	371	319	162	75
Межа текучості σ_T МПа	760	710	710	670	630	620	480	315	305	286	142	49
δ , %	13	12	10	9	12	11	10	9	9		10	-
Параметри	Сірий легований чавун						Високоміцний чавун					
Температура, °C	20	200	300	400	500		20	200	300	400	500	
Модулю пружності, $E \cdot 10^{-5}$ МПа	1,42	1,37	1,32	1,27	1,22		1,78	1,71	1,66	1,59		1,44
Коефіцієнт лінійного розширення, $\alpha_\gamma \cdot 10^6$, 1/°C		8,9	12,2	13,7	14,2	14,4	11,3	12,0	13,1	14,3		15,0
Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м*°C)		54,7	48,8	45,4	43,0	-	24,4	30,2	32,6	32,6		-
Межа міцності σ_m МПа		310	312	295	315	267	720	740	712	655		495
Межа текучості σ_T МПа		276	258	262	266	215	715	695	612	537		430
δ , %		1,3	1,3	1,7	2,0	2,3	0,3	0,7	1,6	4,0		8,5

1.3 Проблеми при використанні поршневих сплавів

Найбільш поширеними серед поршневих сплавів є алюмінієві сплави, але вони мають ряд проблем.

Основна причина лінійної усадки полягає в термічному стисненні виливка при його охолодженні до кімнатної температури. Лінійна усадка починається при температурі, вищій за солідус сплаву, коли утвориться достатня кількість твердої фази для формування твердого каркасу виливка. Цю температуру називають температурою початку лінійної усадки. Подальше скорочення розмірів при охолодженні виливка визначається температурним коефіцієнтом лінійного розширення, який зазвичай, складає третину від температурного коефіцієнта об'ємного розширення [3].

Підвищення величини лінійної усадки пов'язане з термічними напруженнями, що виникають при охолодженні. Величина лінійної усадки сплавів становить від 2...2,5 % (сталі, титанові сплави) до 1,0 % (сірі чавуни). Лінійна усадка сплавів кольорових металів на основі Al, Cu, Mg, Zn становить 0,8...1,8 %.

У виливках, зазвичай, має місце утруднена лінійна усадка, величина якої є меншою від вільної лінійної, через виникнення пластичних деформацій, викликаних внутрішніми напруженнями, спричиненими усадкою. Ливарна усадка залежить не лише від властивостей і стану сплаву, але також від конструкції і форми виливка, від технологічних умов лиття та інших факторів.

Об'ємна усадка проявляється у виливках у вигляді усадкових раковин та/чи усадкової пористості. Величина об'ємної усадки становить в середньому до 5...7 % від об'єму виливка, при цьому основний внесок в цю величину вносить зменшення об'єму сплаву в процесі кристалізації. Є випадки, коли в металі при кристалізації, відбувається не зменшення, а збільшення об'єму, тобто замість усадки спостерігається «ріст», що супроводжується витискування розплаву на поверхню. З цієї причини у виливках з алюмінієвих сплавів з великим ($> 20\%$) вмістом кремнію спостерігається дуже мала об'ємна усадка. У виливках із сірого

чавуну практично не спостерігаються ні усадкові раковини ні усадкова пористість, оскільки при кристалізації сірих чавунів графіт, що виділяється через малу густину компенсує зменшення об'єму у процесі кристалізації металевої матриці (аустеніту) [3].

Газові раковини утворюються у виливку внаслідок підвищення газотворчої здатності форми або зниження її газопроникності. В момент зіткнення розплавленого металу зі стінками форми і повітрям, що знаходиться у формі, відбувається вигорання деяких домішків сплаву, пароутворення, нагрівання повітря і підвищення його тиску, виділення газів з рідкої фази сплаву внаслідок хімічної реакції тощо. Всі ці газоподібні речовини повинні видалятися з форми крізь її стінки.

Якщо ці гази своєчасно не зможуть вийти через стінки форми і тиск їх перевищить силу тиску рідкого металу, в цьому випадку газ проникає в товщу металу. Після затвердіння виливка на місці газового включення утвориться газова пора. Для запобігання утворенню газових пор необхідно створювати ливарні форми, які наділені високою газопроникністю.

Стінки форми обов'язково повинні бути сухими. Заливання розплаву у вологі форми є причиною того, що кількість газових раковин у виливках різко збільшується і робить їх непридатними для користування.

Якщо формувальний матеріал недостатньо газопроникний, то для відводу газів при побудові ливникової системи передбачають відвідний канал.

Причиною виникнення газових пор є також перегрів металу при розплавленні. Це призводить до утворення газових пор в товщі виливка за рахунок поглинання газів [3].

Насиченість розплавів газами призводить до розвивання в виливках газової пористості, яка викликає зниження їх механічних і службових властивостей. Особливо видно вплив пористості на якість виливків із алюмінієвих сплавів. В виробничих умовах пористість виливків оцінюють по макрошліфах, рентгено-контролем, а також безпосереднім визначенням вмісту водня в рідкому розплаві перед його розливанням в форми.

Формування пористості при твердінні виливка відбувається паралельно з процесом виділення газів, що заповнюють пори та можуть створювати в них значний тиск.

При затвердінні і охолодженні розплаву відбувається зменшення його об'єму, що може привести до утворення усадкових раковин. Істотним при цьому є виникнення і розподіл усадкової раковини в виливку. Розрізняють велику або макроусадкову раковину (як відкриту, так і закриту), дрібну або мікроусадкову раковину і усадкову пористість.

Для встановлення розподілу величини усадки використовують проби квадратної форми, відлиті в землю або в кокіль. Тип затвердіння алюмінієвих сплавів впливає на можливість підживлення виливки і розподіл усадкової раковини. Для чистого алюмінію і сплавів евтектичного складу переважає відкрита усадкова раковина. Сплави з широким інтервалом кристалізації мають сильну схильність до мікроусадкових раковин і пористості усадкового характеру.

Усадкові раковини можуть виникати під дією власної ваги або зовнішнього тиску, якщо зовнішня зона кристалізації недостатньо міцна. Крім того, причиною усадкової раковини на поверхні виливка можуть бути неправильно набита земляна форма або занадто висока температура кокіля при литті. Для алюмінієвих сплавів в залежності від складу практична усадка становить 2...7% [3].

Тріщини в литві утворюються при затвердінні розплаву через стискаючі напруги між уже затверділим і кашоподібним металом. Вони проходять уздовж первинно затверділих кристалів і можуть прийняти сильно розгалужену форму. Найбільш схильні до утворення гарячих тріщин сплави з великим інтервалом кристалізації і незначною часткою легкоплавких компонентів (евтектики), особливо сплави систем Al-Mg; Al-Mg-Zn і Al-Cu. Схильність до утворення гарячих тріщин може бути зменшена легуючою присадкою і вибором сприятливої форми виливки, в якій немає різких переходів від тонких перетинів до товстих і накопичення металу. Усунути небезпеку виникнення тріщин можна також слабким набиванням форм і стрижнів. Після повного затвердіння виливків при подальшому охолодженні до кімнатної температури відбувається їх лінійне

стиснення або усадка, які вимірюються ступенем відхилення розмірів виливки від розмірів форми і виражаються у відсотках. Усадка алюмінієвих сплавів складає 1,25...1,4 % проти 1,75 % для чистого алюмінію. Усадка виливків залежить від складу сплаву, умов затвердіння і способу розливання. Якщо усадка затруднена настільки, що виникші сили перевершують міцність і подовження литого металу, то виникають усадкові тріщини. Цьому дефекту може протидіяти рання вибивка форми і своєчасне витягування стрижнів при кокільному литті і під тиском [3].

Недоліки ці можна усунути такими технологічними операціями: легування, модифікування, рафінування, дегазація.

1.4. Методи підвищення якості поршневих сплавів

Традиційні методи підвищення якості сплавів з допомогою легування дорогоцінними елементами, які існують зараз в Україні і за кордоном досягли своєї межі і дуже часто економічно не виправдовують себе. Введення в розплав ультра дисперсних порошків тугоплавких з'єднань (оксидів, нітридів, карбідів і т. ін.) дозволить керувати зернистою структурою на етапі формування процесу кристалізації. Ефективність подрібнення зернистої структури в значній мірі визначається великою кількістю ультра дисперсних часток, які припадають на одиницю об'єму розплаву, які є зародками при кристалізації. Зменшення розміру зерна призводить до підвищення щільності виливка, ліквідації пор газових раковин, тріщиностійкості і підвищення експлуатаційних характеристик [4].

Поршневий сплав повинен мати малий коефіцієнт лінійного розширення. Найбільш сильний вплив на коефіцієнт лінійного розширення надає кремній, збільшення вмісту якого в сплаві з 10% до 25% зменшує коефіцієнт лінійного розширення в інтервалі температур 20...200°C з 20...21 до 16...17°C⁻¹. Істотний вплив на коефіцієнт лінійного розширення алюмінієвих сплавів надає мідь, а також нікель при утриманні їх до 10 %. Підвищення вмісту міді та нікелю відповідно з 0,8...1,5 % до 3,7...4,7 % і з 0,8...1,3 % до 2,6...3,2 % знижує коефіцієнт лінійного розширення з 18,5...19,5 до 17,0...18,0°C⁻¹. Інші легувальні елементи, що

вводяться в поршневі сплави в невеликій кількості, практично не впливають на коефіцієнт лінійного розширення.

Збільшення вмісту кремнію в сплаві в межах 4...13 % призводить до істотного збільшення межі міцності. Подальше збільшення вмісту кремнію (16...25 %) в сплаві знижує значення межі міцності у зв'язку з появою в структурі первинних кристалів кремнію, які є концентратами напруг. Твердість сплавів зі збільшенням вмісту кремнію спочатку різко зростає, а потім в області заевтектичних силумінов змінюється незначно.

Одним з основних легувальних компонентів силумінів, що впливають на характеристики міцності сплавів, при кімнатних температурах, є магній. При введенні магнію в силуміни утворюється з'єднання типу Mg_2Si , а в присутності заліза і міді також $\text{Al}_8\text{SiMg}_3\text{Fe}$ і $\text{S}(\text{Al}_2\text{CuMg})$. Розчинність Mg_2Si в α -твердому розчині алюмінію з пониженням температури різко зменшується з 1,7 % при 575°C до 0,25 % при 200°C . Тому при низькотемпературному відпалі загартованого або закристалізованого при великих швидкостях охолодження сплаву ця фаза виділяється в дисперсному стані на межі зерен.

Володіючи порівняно високою мікротвердістю Mg_2Si істотно підвищує механічні властивості сплаву, причому ефект зміцнення різко падає з підвищенням робочої температури деталі в зв'язку з розчиненням фази ущільнювача (табл. 1.2). Відносно висококремнистих поршневих силумінів допустимий вміст магнію можна вважати в межах 0,7...11,0 %. Мінімальний вміст магнію визначається необхідністю забезпечення гарячою твердістю сплаву. Максимальний вміст магнію визначається збереженням міцності властивостей і пластичності сплаву при кімнатних температурах.

Мідь знижує корозійну стійкість силумінів, але підвищує міцнісні властивості при кімнатних і підвищених температурах [6]. Деяка частина міді входить в твердий розчин алюмінію. Частина міді утворює жаростійку, погано розчинну в твердому розчині фазу W ($\text{Al}_x\text{Mg}_5\text{Si}_4\text{Cu}_4$), яка, виділяючись в дисперсному стані, блокує кордони зерен і підвищує жароміцність сплаву [7]. При надмірній кількості міді може утворитися з'єднання типу SiAl_2 , яке входить до

складу легкоплавких евтектик, що необхідно враховувати при підборі режимів термічної обробки.

При наявності в легованому силуміну нікелю утворюється складна фаза TNi (Al_6CuNi), сприяє підвищенню жароміцності сплаву. Крім того, нікель утворює жаростійке з'єднання і в присутності заліза ($FeNi$) Al_9 .

Таблиця 1.2 – Мікротвердість вторинних фаз, котрі утворюються з алюмінієвих поршневих сплавів.

Фаза	Мікротвердість при температурах і випримках під навантаженням					
	20°C		300°C			
	30с	180с	180с		360с	
	МПа	МПа	МПа	Зменшення, %	МПа	Зменшення, %
Si	1207	1200	991	21.3	785	42.3
Mg_2Si	526	395	235	40.4	162	56.0
Al_2Cu	521	472	2610	44.4	1972	58.3
Al_7Cu_2Fe	5837	5602	2815	49.7	2540	54.9
$\delta (Al_2MgCu)$	5532	4670	3041	34.8	2482	41.7
$W(Al_xMg_5Si_5Cu_4)$	5690	4218	3080	27.0	2470	39.0
$\Pi(Al_8Si_6Mg_3Fe)$	5739	5700	4580	18.0	3689	34.1
$T_{Mn}(Al_8Mn_2Cu)$	6161	6161	5239	26.0	4434	26.4
Al_3Ni	5837	5744	4091	28.7	3472	39.5
$T_{Ni}(Al_6Cu_3Ni)$	1125	1038	8633	15.8	7691	25.8
Al_3SiFe	1125	1054	754	28.4	550	47.0

Оптимальний вміст міді і нікелю в легованих силумінах визначається необхідністю отримати досить високі властивості міцності сплаву при робочих температурах поршня. Залежно від теплонавантаженості поршнів в сплав вводять від 1...2 % до 3...5 % міді і нікелю. Нікель забезпечує кращу в порівнянні з міддю стабілізацію структури при тривалому відпалі. З метою отримання оптимальних властивостей силумінів доцільно в сплав вводити 1,2...2,0 % міді і до 1 % нікелю. Подальше збільшення вмісту міді та нікелю в сплавах економічно не вигідно.

Хром і марганець сприяють виділенню залозистої складової в більш компакту форму. Утворюючи стійкі з'єднання $MnAl_6$ і $CrAl_6$, вони блокують границі зерен. Рекомендується вводити в поршнєві сплави 0,5...0,85 % марганцю і 0,2...0,4 % хрому. Зниження вмісту зазначених елементів зменшує гарячу твердість сплавів. Підвищення вмісту марганцю і хрому вище зазначених меж знижує міцність і пластичність сплаву.

Наявність в сплаві заліза, яке при присутності марганцю, кобальту, ванадію, нікелю, хрому виділяється у вигляді голчастої залозистої складової, знижує механічні властивості. Залізо значно підвищує крихкість силумінів.

Алюмінієві сплави модифікують з метою подрібнення макрозерна, первинно кристалізуючихся фаз і фаз, що входять в евтектику, а також з метою зміни форми виділення крихких фаз [8].

Під модифікуванням розуміють подрібнення структури. При цьому під словом "структура" розуміють найрізноманітніші риси мікро- і макробудови литого металу: розмір макрокристалла, розмір дендритних комірок, форма і розміри первинних кристалів, і виділених фаз в евтектиках.

Спеціальні умови плавки, що викликають зміну структури твердого металу, зазвичай зводиться до перегріву розплаву до певної температури, витримці і прискореному охолодженню до температури розливання. Поки досить нерозвинені загальні теоретичні уявлення про модифікування шляхом перегріву розплаву і швидкого охолодження. Здається тут велика роль змін структури металевої рідини, обумовлених температурою і часом.

Рух розплаву під час кристалізації зі швидкістю понад 0,5 м/с викликає помітне подрібнення мікроструктури. Накладення на кристалізуючийся розплав механічних або ультразвукових коливань також призводить до подрібнення макрозерна.

З огляду на величезне розмаїття умов, що викликають подрібнення литої структури, єдина теорія модифікування не розроблена, хоча спроби у цьому напрямку робилися (теорія узагальненого моменту В.К. Семенченко, теорія взаємодії s-p-d елементів Г. В.Самсонова).

За Мельцевим М.В. домішки за механізмом впливу на структуру сплавів поділяються на модифікатори I і II роду [9]. Дія модифікаторів I роду може бути обумовлено труднощами росту кристалів. Ці домішки, будучи поверхнево-активними скупчуються в шарі розплаву, навколишньому кристалі, і тим самим перешкоджають його росту. В результаті виникає більш глибоке переохолодження з відповідно великим числом нових зародків. Загальним підсумком є зменшення середнього розміру зерна.

Модифікатори II роду створюють в розплаві тонкодисперсну і рівномірно розподілену суспензію твердих частинок, що можуть грати роль центрів кристалізації. Тверда частинка може бути центром кристалізації, якщо її кристалічна решітка в деяких площинах збігається з ґратками майбутніх кристалів, а періоди решітки відрізняються не більше ніж на 10...15 %.

Для подрібнення макрозерна в розплав вводять титан, цирконій, бор або скандій в кількості 0,05...0,15 % від маси розплаву. При взаємодії з алюмінієм ці елементи утворюють інтерметаліди $TiAl_3$, $ZrAl_3$, TiB_2 і ін. Вони мають однотипність кристалічних решіток і розмірну відповідність їх параметрів в деяких кристалічних площинах з кристалічними ґратками α_{Al} -твердих розчинів сплавів. У розплавах з'являється велика кількість центрів кристалізації, що обумовлює подрібнення зерна в виливку. Ці модифікатори в розплав вводять у вигляді лігатур при 720...750°C. Кількість модифікатора становить 1...3 % від маси розплаву, що забезпечує 0,05...0,15 % модифікуючого елемента в розплаві.

Залізо в алюмінієвих сплавах утворює тверді інтерметаліди - потрібну проміжну фазу β (Al-Fe-Si) і хімічну сполуку FeAl. Ці сполуки кристалізуються у вигляді простих голкоподібних кристалів, різко знижують пластичні властивості сплавів. Нейтралізацію шкідливого впливу заліза здійснюють введенням в розплав присадок марганцю, хрому або беридію.

Литі евтектичних сплави системи Al-Si для подрібнення виділень евтектичного кремнію модифікують натрієм або стронцієм.

Якщо дрібнодисперсні виділення деформовані, то їх власні властивості відіграють дуже важливу роль, оскільки сам розмір виділень незначно впливає на

міцність сплаву [10]. Для недеформованих з'єднань міцність сплаву не залежить від їх властивостей, але сильно змінюється при зміні їх дисперсності і розміру. Міцність сплаву буде тим вище, чим більше об'ємна частка виділень.

Досягнення високої об'ємної долі включень з високою енергією зв'язку в сплавах, де утворення фаз відбувається через зміну розчинності розчиненого елемента з температурою, нашоувхується на принципові труднощі. Це обумовлено тим, що внаслідок правила Юм-Розері висока енергія зв'язку вже сама по собі має на увазі малу розчинність.

У заевтектичних немодифікованих сплавах первинний кремній має вигляд сірих масивних кристалів, часто шестикутної форми, що і відрізняє їх від евтектичних. Крім первинних кристалів кремнію структура сплавів цього типу полягає ще з евтектики, а також кристалів зміцнюючих інтерметалічних фаз.

Внаслідок нерівномірності процесу кристалізації в структурі часто можна спостерігати псевдопервинні дендрити алюмінію, що оточують первинні кристали кремнію [11].

Великі і крихкі частки первинного кремнію є концентраторами напружень, тому наявність їх в структурі призводить до зниження механічних властивостей сплавів (особливо пластичності). Крім того, кристали первинного кремнію мають високу стійкість, що ускладнює обробку сплавів різанням, погіршує чистоту оброблених поверхонь і підвищує зношування ріжучого інструменту [12].

Саме тому при виробництві заевтектичних алюмінієво - кремнієвих сплавів особливого значення набуває модифікування, завдання якого зводиться, по-перше, до подрібнення і більш рівномірного розподілу кристалів кремнію; по-друге, до подрібнення грубих голчастих частинок евтектичного кремнію алюмінієво кремнієвої евтектики (при лиття в піщано-глинисту форму).

Найбільш широко поширеним модифікатором заевтектичних висококремнистих алюмінієвих сплавів є фосфор, який вводять в розплав, або в чистому вигляді, або у вигляді сплавів, різних з'єднань і сумішей. Модифікуюча дія пояснюється утворенням частинок тугоплавкого фосфіду алюмінію, які ізоморфні з кремнієм і, на думку ряду авторів [13,14] сприяють збільшенню

зародків кристалізації кремнію, а значить, і його диспергуванню. Фосфід алюмінію має кубічну решітку з періодом 0,543 нм, тобто дотримується принцип структурної і розмірної відповідності.

Застосування елементарного червоного фосфору обмежене необхідністю порівняно великого перегріву розплаву ($880\ldots 900^{\circ}\text{C}$) і тривалої витримки металу після введення в розплав. Крім того, встановлено, що фосфор може викликати збільшення розміру первинного кремнію або зменшення числа кристалів на одиницю площі після збільшення концентрації модифікатора вище деякої критичної.

Недоліком цього модифікатора також є небезпека викиду металу [15]. Тому фосфор найбільш часто вводять в розплав у вигляді сплаву Si-P , що виключає необхідність істотного перегріву і тривалої витримки після модифікування. Однак, небажаним є підвищення вмісту міді проти допустимої кількості для даного сплаву.

В якості модифікаторів евтектичних силумінів популярність завоювали реакційні суміші різного складу, що включають солі фосфору та його сполуки. Прикладом таких сумішей є "Альфозіт", що складається з 20 % червоного фосфору, 70 % хлориду калію і "Фораль", до складу якого входять лужні і лужноземельні метали і алюмінієвий порошок. Після обробки зазначеними сумішами розплав необхідно рафінувати.

Принцип дії реакційних сумішей заснований на обмінній екзотермічній реакції між сполуками фосфору з алюмінієм. В таких сумішах в якості речовини, що ініціює реакцію суміші з розплавом і дозволяє при цьому подрібнювати первинні кристали кремнію, які не перегріваючи розплав, повинен бути присутнім червоний фосфор. Ефект модифікування позначається практично відразу ж після закінчення реакції і зберігається протягом $3,0\ldots 3,5$ год. Більш тривала витримка грубішає структуру, однак, рафінування розплаву дозволяє відновити дрібнозернисту структуру і властивості міцності сплаву [15].

Одним із способів підвищення міцності сплавів є введення в розплав ультрадисперсних порошків (УДП) нітридів AlN , SiN_4 , TiN і ін, які мають високу

стійкість і міцність [17]. В'язке руйнування сплавів, що містять частинки другої фази, полягає в тому, що воно починається шляхом утворення пустот біля поверхні частинок або в результаті розриву зв'язку на поверхні частинка-матриця, або внаслідок розтріскування частинок другої фази. У мірі подальшої деформації сплаву ці порожнечі ростуть і збільшуються за механізмом утворення внутрішньої шийки. За інших рівних умов порожнечі будуть утворюватися спочатку у більших частинках. Чим менше їх розмір, тим більше повинна бути деформація матриці сплаву, перш ніж почнеться утворення пустот [10].

Наявність в рідких розплавах твердих частинок нерозчинних домішок забезпечує гетерогенний механізм кристалізації, який не вимагає значних переохолоджень. У сплавах на основі алюмінію можуть бути присутніми Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 , TiC , ZrC , B_4C , TiAl_3 , ZrAl_3 , FeAl_3 . Для дезактивації цих частинок необхідні високі температури, які набагато перевищують температуру плавлення алюмінію. Повна дезактивація частинок таких домішок практично спостерігається при підвищенні температури плавлення відповідного з'єднання [18] (табл. 1.3).

Більш низькою температурою плавлення мають інтерметаліди. Їх дезактивація як центрів кристалізації може відбуватися при тривалій витримці розплаву. При цьому структура вилівка грубішає, що вказує на часткове розчинення центрів кристалізації.

Для того, щоб тугоплавка частинка ставала зародком при затвердінні металу необхідна структурна подібність решіток. З наведеного ряду сполук (табл.1.3) і інших, карбідів тугоплавких металів найбільша структурна відповідність решіток спостерігається у інтерметалідів і карбідів ванадію і титану. З огляду на можливість дезактивації інтерметалідів і високу стійкість карбідів ванадію слід віддати перевагу карбиду титану, у якого відношення параметра решітки до параметру решітки алюмінію складає 6,93 % [19]. Велика структурна подібність створює сприятливі умови для прибудови атомів алюмінію до карбиду титану. Щільно упакована площині (11) кристалічної решітки карбиду титану дуже близькі за структурою площині (11) або (111) решітки алюмінію.

Таблиця 1.3 – Температури плавлення деяких тугоплавких з'єднань.

Сполука	Al_2O_3	TiC	ZrC	B_4C	TiAl_3	ZrAl_3	FeAl_3
Температура плавлення, С	1840	3250	3550	3350	1350	1580	1180

Карбід титану утворює зародки кристалізації алюмінію при переохолодженні всього на кілька градусів. Дендрити алюмінію ростуть від частинок з'єднання TiC і TiAl_3 . Причому з'єднання TiC сприяє зародженню фази TiAl_3 , яка стає центром кристалізації без переохолодження сплаву. Найкраще зміну алюмінієвих сплавів спостерігається при наявності TiC і TiAl_3 [20].

Ступінь подрібнення структури сплавів у виливках в значній мірі залежить від розмірів структурних складових лігатур. Так, модифікування сплаву карбідом титану забезпечує отримання лінійного розміру фази TiAl_3 до 50...55 нм [21].

Модифікування тугоплавкими дрібнодисперсними частинками призводить до збільшення механічних характеристик алюмінієвих сплавів. При введенні в алюміній А99 лігатури Ti-Al і ультрадисперсних частинок карбіду кремнію і нітриду танталу його макрозерно подрібнювалося відповідно в 43,7 і 65,5 рази в порівнянні з модифікуванням однією лігатурою [22]. При модифікуванні сплавів ВАЛ10, АЛ4 і АВ8 ультрадисперсними карбідами титану межа міцності зростає відповідно на 20,4 %, 10,3 % і 10 %, а відносне подовження в 1,4, 1,2 і 1,3 рази в порівнянні зі стандартною технологією модифікування солями натрію і калію [22,23]. При введенні карбіду бору міцність сплаву АЛ4 і АЛ24 зросла на 5,3 % і 20,3 %, а відносне подовження - в 1,4 і 1,1 рази відповідно [23]. Підвищення механічних властивостей і подрібнення макрозерна твердого розчину і евтектики сплавів АЛ2 і АЛ9 можна отримати шляхом обробки розплавів карбонітриду бору [24].

При введенні в сплав АК12М2МгН дисперсних частинок карбіду титану в кількості декількох відсотків відбувається збільшення зносостійкості і жароміцних, підвищується твердість, особливо при високих температурах [25]. Тому застосування в якості модифікаторів порошків тугоплавких карбідів є вель-

ми перспективним з точки зору структури і механічних властивостей виливків з алюмінієвих сплавів.

До найбільш поширених модифікаторів евтектики Al-Si відносяться натрій і калій. З огляду на низьку температуру плавлення і кипіння і великої хімічної активності введення цих модифікаторів в розплав, в металевому вигляді утруднений. Тому в виробничих умовах натрій вводять в розплави у вигляді солей. Найбільш широко використовують потрійний флюс (40 % - NaF, 45 % - NaCl і 15 % Na_2AlF_6), який вводять в розплав в кількості 1,5 % від маси шихти при температурах 740...750°C. Однак, застосування натрію в якості модифікатора пов'язано з рядом недоліків [8,26]: збільшення газонасиченості, зниження рідкотекучості, розвиток усадкової пористості, швидке вигорання, що вимагає відновлення модифікування через кожні 180 с, втрата модифікуючого ефекту після рафінування, фільтрації, вакуумування і ін.

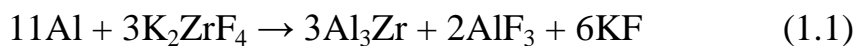
У зв'язку з цим більш широко застосовується в якості модифікатора стронцій [8]. Перевага стронцію перед натрієм - більш тривале збереження модифікуючого ефекту, в тому числі після переплавок. Оптимальний вміст стронцію в розплаві 0,04 %, температура модифікування 750...780 °C.

В якості модифікатора можливе використання сурми [8]. Сурму вводять в розплав в кількості до 0,20 % і модифікуючий ефект при цьому зберігається при витримці до 4 год. Збільшення вмісту сурми в магнеєво вмісних силумінах вище 0,22 % недоцільно, тому що в них утворюється тендітна фаза Mg_3Sb_2 .

Для модифікування зерен твердого розчину використовують елементи перехідних груп, причому, чим більше вони мають недобудованих оболонок d і f, тим сильніше ефект їх модифікування. Бор в сплав вводять у вигляді сухого порошка KBF при температурі 770...780 °C в кількості 0,05 % від маси шихти. При цьому бор з'єднується з алюмінієм в фазу AlB_2 яка утворює велику кількість ультрадисперсних частинок які є центрами кристалізації.

Титан і цирконій вводять в розплав у вигляді солей K_2TiF_6 , K_2ZrF_4 і ін. при температурі 760...770 °C. Вирізняючийся атомарний модифікатор з'єднується з

алюмінієм у вигляді ультрадисперсних частинок, подрібнюючи зерна твердого розчину:



Навіть невелика кількість азота, введене в алюмінієві сплави, може зробити помітний вплив на їх властивості. Вплив азоту на властивості металу залежить від його перебування в сплаві. Атмосферний азот, внесений в сплав при виплавці, призводить до виникнення плівок, газових пор, раковин. Але відомо, що якщо створити умови для взаємодії з розплавом, азот може входити в тверді розчини і утворювати нітрідні фази, беручи участь в зміцненні сплаву [27, 28].

Зміцнююча дія азоту пов'язана з утворенням в структурі дрібнодисперсних частинок [27], які затримують ріст зерна при нагріванні під загартування і не роблять тому помітного негативного впливу на пластичність і ударну в'язкість сплаву. Є ряд робіт, що показують, що використання азоту в якості легуючого компонента в сплаві призводить до значного підвищення їх властивостей при кімнатній і підвищеній температурах. Відзначається поліпшення таких характеристик, як зносостійкість, корозійних властивостей, жаростійкість, тривала міцність і ударна в'язкість.

До одних з перших вітчизняних робіт, спрямованих на поліпшення якості алюмінієвих сплавів шляхом легування їх азотом, відносяться дослідження К.М. Погодін-Алексєєвої і Л.М. Двяченко [29]. Для легування сплавів АЛ4 і АЛ11 в сплави було введено до 0,01...0,02 % азоту. При цьому в литому металі АЛ4 межа міцності збільшився з 137 до 168 МПа, а відносне подовження з 1,65 до 2,4 %, а твердість з 64 до 74 НВ. У загартованому вигляді після старіння межа міцності сплаву М4 зріс з 235 до 245 МПа, відносне подовження – з 2,4 до 6,5, твердість - з 84 до 94 НВ. На прикладі сплаву АЛ11 вплив азоту, що вводиться в розплав в кількості 0,1 %, проявилось після гартування: без термічної обробки твердість становила 89 НВ, а після гартування з температури 520 °С – 131 НВ.

Одним з методів азотації є введення синтетичних УДП нітридів в алюмінієві сплави. Авторами [30] розроблено спосіб, що полягає в тому, що порошок нітриду поглинається розплавом при накладенні на нього вертикальної низькочастотної вібрації з частотою 80...85 Гц і амплітудою 0,5...1,0 мм. Алюміній плавиться в керамічному тиглі. При температурі розплаву вище на 10...20° температури ліквідуса на дзеркало металу засипають розрахункову кількість порошку модифікатора. Після повного засвоєння порошку розплав заливається в металеву ізложницю. Один з можливих варіантів отримання модифікатора - використання віброудара, який полягає в тому, що порошок нітриду засипають на поверхню віброуючого з частотою 50...60 Гц розплава і після його прогріву частоту коливань різко збільшують до 80...85 Гц. При цьому в 2...2,5 рази збільшується продуктивність способу. Запропонованим способом можна отримати модифікатори, які містять до 50...60 % нітриду.

Іншим способом отримання модифікатора [31] являється спосіб, згідно з яким порошок нітриду і металів, що утворюють між собою хімічні сполуки, перемішуються в заданому співвідношенні і спресовуються під тиском 500...600 Н/мм². Спресовані брикети спікають при температурі на 10...20° нижче температури утворення рідкої фази в вакуумі 10⁻⁴ мм.рт.ст. Це дозволяє дегазувати порошки і виключити окислення за рахунок власних адсорбованих газів і газів з навколишнього середовища. При нагріванні до 710 °С алюміній, магній і цинк утворюють такі хімічні сполуки:

- MgZn₃ (температура плавлення 566°C);
- MgZn₂ (температура плавлення 590°C);
- MgZn (температура плавлення 545°C);

а також Al₂Mg₅Zn₃, Al₂Mg₃Zn₃ які добре змочують порошки тугоплавких з'єднань і дозволяють зменшити витрату модифікатора завдяки його повному і швидкому засвоєнню в результаті екзотермічної реакції.

Оптимальний склад модифікуючого брикету, отриманого описаним способом, наступний, мас. %:

- УДЛ нітриду кремнію (алюмінію) – 8...10;

- порошок магній – 5...7;
- порошок цинку – 13...15;
- порошок алюмінію – решта.

З метою підвищення механічних властивостей сплавів запропоновано обробляти розплав нітридами кремнію і алюмінію або цирконієм у вигляді фторцирконата калію. Спосіб полягає в тому, що розплав при 660 ± 10 °C вводять в кількості 0,5...0,7 % (по масі) попередньо сплавлена суміш фторцирконата калію і нітриду кремнію (або алюмінію), фторцирконата калію розплавляють в графітовому тиглі і при температурі 810 ± 10 °C розчиняють порошок нітриду. Після ретельного перемішування розплав заливають у металеву ізложницю.

Одним з найбільш простих способів модифікування азотом є введення лігатури в розплав металу. Однією з відомих лігатур є сплав Al-Si-N-Fe [7]. Даний сплав дозволяє легувати кремнієм і азотом одночасно. Зі збільшенням кількості кремнію, що вводиться в сплав, відбувається і збільшення поглиненого сплавом азоту.

Оскільки взаємодію газів з алюмінієвими сплавами слід розглядати як хімічні процеси, з метою забезпечення чистоти розплаву необхідні в першу чергу профілактичні заходи. В даний час для захисту сплавів від окислення, поглинання газів, а також видалення неметалевих включень широке поширення одержав спосіб створення на поверхні розплаву хімічно пасивного шару флюсів [4].

Слід враховувати, що солі, що входять до складу флюсів, містять вологу (KCl і NaCl до 3 %) і мають підвищену гігроскопічність. Навіть при відносно невеликому вмісті води у флюсі (0,02 %) сплав сильно насичується воднем. Тому для видалення гігроскопічної води солі рекомендують ретельно просувати при температурі 150...200°C протягом 10 год [4].

Покривно-рафінуючі флюси захищають сплави від взаємодії з атмосферою печі, сприяють очищенню від твердих і газоподібних неметалічних включень. Рафінуюча дія флюсів полягає в тому, що вони здатні адсорбувати до 10 % окису алюмінію і розчиняти до 1 % її, при цьому видаляється і водень, який утворює з окисом алюмінію комплекси.

У табл. 1.4 наведено склад флюсів, що застосовуються при плавці алюмінієвих сплавів.

Таблиця 1.4 – Флюси для плавки силумінів.

Призначення флюсу	Склад, % (за масою)					
	NaCl	KCl	Na ₃ AlF ₆	MgCl KCl	NaF	CaF ₂
Покривно-захисний для переплавки відходів і стружки	50	35	15	-	-	-
	40	50	-	-	10	-
Покривно-захисний для сплавів Al-Si-Mg і Al-Si-Cu	39	50	6,5	-	-	4,5
	30	47	23	-	-	-
Покривно-рафінуючий і модифікуючий для сплавів системи Al-Si-Mg і Al-Si-Cu	33	-	-	-	67	-
	62	13	-	-	25	-
Універсальні флюси:						
№ 1	25	-	15	-	60	-
№ 2	45	-	15	-	40	-
№ 3	50	10	10	-	30	-

Особливу групу складають універсальні флюси виготовлені на основі подвійного (NaCl і NaF) або потрійного (NaCl, KCl, NaF) модифікатора з додаванням 10...15 % кріоліту. Обробка універсальним флюсом дозволяє поєднати ряд операцій (захист, рафінування, модифікування) [4].

До адсорбційних методів рафінування відноситься також продування через розплав інертного або активного газу. В якості рафінуючих газів застосовують азот, аргон, гелій і хлор. Газ пропускають знизу через всю товщу розплаву, при цьому в бульбашки газу дифундує розчинений в розплаві водень. Спливаючі бульбашки зустрічають на шляху зважені неметалічні включення і виносять їх на поверхню. Найбільш дешевим газом є азот, інертний по відношенню до алюмінію при температурах до 700°C.

У зв'язку з тим, що рафінування при продувці через розплав газів здійснюється за рахунок дифузії водню з металу в газ і за рахунок флотаційного вилучення частинок оксидів з розплаву, легко собі уявити, що в результаті при однаковій витраті рафінуючого газу ефективність рафінування визначається

тривалістю існування газових бульбашок в розплаві, а також їх сумарною поверхнею [32].

У рідкому алюмінієвому сплаві завжди є тверді неметалеві частинки і бульбашки газу, головним чином водню. Водень присутній в розплаві в істинному розчині, а також в атомарному і молекулярному станах. Окис алюмінію утворює з воднем електростатичні комплекси $H_2 \rightarrow Al_2O_3$, які мають радіус порядку 20...40 мкм. Механізм можливого зародження і зростання з таких комплексів бульбашок водню. Причиною цього є коливання розчинності водню, викликані змінами температури розплаву або вологості газів над розплавом. Разом з тим велика кількість газових бульбашок розміром вище критичного проникає в розплав багатьма іншими шляхами: при внесенні компонентів шихти в рідку її частина, при введенні в розплав плавильного інструменту, при відриві від поверхневого шлаку твердих частинок і їх зануренні у ванну і т. д. [33,34].

При використанні радіоактивного водню, що знаходиться в істинному розчині, водень становить лише 20...40 % від усієї його маси в розплаві. Інша частина водню знаходиться в рідкому металі у вигляді газової «емульсії», що складається з комплексів окису і бульбашок з радіусом близько $3,1 \cdot 10^{-3}$ см. І тому кількість пов'язаного газу незрівнянно менше, ніж розчиненого. Частина водню не пов'язана з окисними плівками і розчинена в металі, інша ж частина утворює з плівками комплекси.

Нейтральний газ, що вводиться в рідкий метал, взаємодіє з зазначеними газоподібними і твердими неметалічними частинками, що знаходяться в рідкій ванні. Дрібні і найдрібніші бульбашки водню поглинаються бульбашками рафінуючого газу, а тверді неметалеві включення флотуються. У першому випадку швидкість підйому рафінуючих бульбашок збільшується, а в другому помітно зменшується через велику різницю щільності газу і твердої окисної частки. Тому, діють ще два фактори, які змінюють сумарну поверхню контакту рафінуючого газу з розплавом і впливають на час цього контакту [32].

Питання розширення зони розплаву, на яку продувається рафінуючий газ безпосередньо впливає, найбільш вдало вирішено в пристрої, запатентованому у

Франції під назвою «Gasal», в якому вся площа дна тигля виконана з пористого матеріалу, що дозволяє продувати газ одночасно по всьому перетину тигля. До такого оптимального варіанту конструктивно можна наблизитися, працюючи зі звичайними тиглями, без подвійного дна. Для цього достатньо диск з пористого елемента вставити в дно тигля і підвести газ.

Пористі елементи, які відповідають всім основним технічним вимогам, виготовляються з різних вогнетривких матеріалів, головні з яких: шамот класу А (марка Н-31), окис алюмінію, електрокорунд або суміш електрокорунду і карборунду, графіт [34]. Пористість кераміки обумовлюється гранулометричним складом і технологією пресування. Однак таких матеріалів випускається надзвичайно мало.

Більш широке поширення, мабуть, отримають пристрої з пористими діафрагмами одноразової дії:

- пристрої з діафрагмою у вигляді стрижневої вставки з кварцевого піску;
- пристрої з діафрагмою з склотканини;
- пристрої з діафрагмою, виготовленої по методу виплавлених моделей.

Продування розплаву через такий пристрій триває 10 – 15 хв. Ефективність щодо зниження газонасиченості і пористості виходить досить високою. Вона тим вище, чим більше відношення площі діафрагми до площі перетину тигля, в якому рафінується розплав [4].

Загальним принципом дегазації є використання бульбашок газу, що проходять через розплав і виносять водень на поверхню. Ефективність дегазації залежить перш за все від розміру бульбашок. При ротаційній дегазації створюються добре дисперговані бульбашки діаметром кілька міліметрів, і цей спосіб дегазації є найбільш ефективним. Застосовуючи пористі пробки, також можна створювати бульбашки невеликого діаметру. Але в цьому випадку дисперсія бульбашок відбувається гірше, ніж при ротаційній дегазації. При дегазації з допомогою трубки утворюються бульбашки діаметром від 20 до 30 мм, спливаючі локально тільки в області введення трубки. Можна застосовувати інертний або реактивний газ. Реактивні гази більш ефективні для видалення

твердих частинок, але менш екологічні. При використанні дегазуючих препаратів у вигляді таблеток досягається глибоке рафінування за рахунок протікання адсорбційно-флотаційних процесів та хімічного зв'язування розчиненого водню. Такі препарати знижують пористість, вміст газу, втрати металу зі шлаком, підвищують пластичні властивості металу і одночасно надають модифікуючу дію.

Продування розплаву інертними газами, при відповідному інженерному оформленні задовільно видаляє включення, що потрапили в розплав з сміттям сталевих брухту, включення які утворюються в розплаві за рахунок «внутрішнього» окислення можна видалити, тільки зв'язавши їх в сполуки, які за своєю природою і структурою менш пов'язані зі структурою розплавленого алюмінію, наприклад в оксихлориді або оксифториді. Використання добавок хлору або фторовмісних газів (фреонів) в продувний газ частково допомагає процесам флотації неметалевих включень із розплаву. Істотно підвищує ефективність флотації і диспергування бульбашок продувочного газу, яка може бути здійснена або за допомогою обертового в розплаві імPELLера (нагнітача газу), або продувкою розплаву високошвидкісними струменями газу. Кращі результати дає поєднання активного флюсування шляхом перемішування металу з рідкими флюсами з наступною продувкою розплаву дисперговані нейтральним газом [4].

1.5 Вихідні матеріали для поршневих сплавів

До складу шихти входять: первинні матеріали (мідь, алюміній, цинк, нікель і ін.), які надходять в ливарні цехи з металургійних заводів; лом чорних сплавів і лом кольорових сплавів, що представляють собою перероблені промислові вторинні відходи; спеціальні феросплави і лігатури, що надходять з металургійних заводів; відходи ливарного виробництва і механічних цехів. Кількісне співвідношення різних матеріалів в шихті залежить від якості вихідних матеріалів і від вимог, що пред'являються до виготовлених сплавів [35].

Найбільш дорогою частиною шихти є первинні метали, сплави і лігатури, тому їх використовують в мінімальній кількості. Первинні метали і сплави

додаються в шихту для зниження загального вмісту шкідливих домішок, наявних у вторинних матеріалах і ливарних відходах. Залежно від типу печей і прийнятого технологічного процесу плавки шихтові матеріали проходять відповідну підготовку. Так, чушки доменного чавуну розбиваються чушколомом, а великогабаритний чавунний лом – копром. Сталевий брухт розрізається ацетиленокисневим полум'ям, а дрібний і тонкий пресується в пакети.

Належна підготовка шихтових матеріалів прискорює процес плавки, підвищує продуктивність печей і покращує якість сплавів.

Готові шихтові матеріали поміщаються в спеціальні бункера або засіки, звідки відбувається їх відбір для завантаження в плавильну піч [35].

При плавці і розливанні на повітрі алюмінієві поршневі сплави легко окислюються і насичуються воднем, причому шкідливий вплив розчинених газів на якість виливків помітно вже при невеликих кількостях їх в розплаві. Гранично допустима кількість водню в алюмінієвих поршневих сплавах, що дозволяє отримувати якісне лиття, оцінюється $0,1 \dots 0,20 \text{ см}^3/100\text{г}$ металу. Основна увага при плавці приділяють попередженню зайвого окислення і газонасичення сплаву. З огляду на шкідливий вплив домішок в алюмінієвих поршневих сплавах, прагнуть також отримати сплав з мінімальними кількостями цих домішок, особливо заліза.

Способи плавки алюмінієвих поршневих сплавів залежать від застосовуваного типу печей і шихтових матеріалів. Тип плавильних печей вибирають в залежності від характеру виробництва і призначення сплаву.

Плавку алюмінієвих поршневих сплавів проводять в тигельних печах з нафтовим, газовим і електричним обігрівом, в полум'яних відбивних печах, подових електропечах опору і індукційних печах. За призначенням розрізняють печі плавильні, роздаткові та плавильно-роздавальні.

Найбільш якісний метал виходить при плавці в індукційних печах. У цих печах плавка йде швидко, метал виходить добре перемішаним і менш газонасичених. Відбивні печі, опалювальні газом, застосовують для плавки алюмінієвих поршневих сплавів в цехах заготівельного лиття, а також для

переплавки відходів і стружки. У фасонноливарних цехах поширені відбивні електропечі опору.

Тигельні печі з різними способами нагріву застосовують для плавки порівняно невеликих кількостей металу (особливо вони зручні як роздавальні печі).

Для плавки алюмінієвих поршневих сплавів застосовують переважно металеві зварні, литі, рідше ковані тиглі [35].

При плавці в металевих тиглях є небезпека взаємодії сплаву з тиглем і забруднення його домішками заліза. Найбільш агресивні по відношенню до чавунних тиглі алюмінієві поршневі сплави з кремнієм, потім з магнієм і менш з міддю і цинком. Тому стінки тиглів перед плавкою покривають спеціальними захисними фарбами, крім того, підбирають склади чавуну або сталі, більш стійкі по відношенню до алюмінію. Наприклад, сірі чавуни більш стійкі, якщо в них більше графіту і він знаходиться в сильно розгалуженій формі. Кремній в чавуні (як і кремній в розплаві) сприяє взаємодії металу з матеріалом тигля тому прагнуть знижувати вміст його в чавуні до нижньої межі, а в якості графітізуючого елемента при виплавці використовують алюміній (1,2...3,0 %). Алюміній, крім того, знижує окислюваність тигля і з зовнішнього боку. Вміст марганцю має бути мінімальним. Високу стійкість мають тиглі з чавуну з вмістом алюмінію до 8 % і з присадками хрому (0,4...1,0 %), а також нікелю і молібдену.

Рекомендуються наступні загальні правила приготування алюмінієвих поршневих сплавів:

1. При плавці на первинних шихтових матеріалах і лігатури в першу чергу завантажують алюміній, а потім розчиняють лігатури.
2. Якщо плавка ведеться на попередньому чушковому сплаві або на чушковому силуміну, в першу чергу завантажують і розплавляють чушкові сплави, а потім підшихтовують сплав необхідною кількістю алюмінію і лігатур.
3. Сильно схильні до горіння метали, наприклад цинк, магній, вводять в сплав в останню чергу, бажано під шар флюсу.

4. Якщо шихта складається з відходів та чушкового металів, черговість завантаження визначається кількістю складових частин шихти: в першу чергу завантажують в піч і розплавляють найбільшу частину шихти. Якщо, проте, відходи сильно забруднені, то краще їх спочатку розплавити, дегазувати і потім завантажувати чушковий метал.

5. Якщо ємність печі і габарити шихти дозволяють завантажувати різні її складові одночасно, то разом завантажують те, що має близьку температуру плавлення, наприклад силумін, відходи, чушковий алюміній. Шихту підбирають з найменшою кількістю домішок для даного сплаву. Укладання шихти в піч треба виробляти компактно, розплавлення вести швидко. При завантаженні в рідку ванну тверду шихту необхідно попередньо підігрівати [35].

Шихтові матеріали і зворот власного виробництва необхідно зберігати в сухих і теплих приміщеннях. Зберігання їх у сирих приміщеннях або ж на відкритому повітрі призводить до адсорбції вологи і посиленому окисленню.

Шихту зазвичай складають з відходів і 20...60 % первинних матеріалів, ретельно зважують відповідно до розрахункових даних. Розрахунок шихти ливарних алюмінієвих сплавів проводять за даними ГОСТу (за середнім або оптимальним складом). Залежно від особливостей сплавів і вимог до властивостей вилівка складу одних компонентів розраховують по мінімальній кількості, інших - по максимальному, а треті компоненти розраховують по середній кількості.

При розрахунку шихти для приготування виливків з алюмінієвих сплавів АК4, АК5, АК6 і Д16 вміст міді в сплавах беруть за верхньою межею, що сприяє зниженню схильності сплавів до утворення тріщин, а вміст заліза, магнію і кремнію беруть, навпаки, по нижній межі, для зменшення ліквації.

Часто при виборі оптимального складу сплаву доводиться враховувати одночасно вплив на властивості сплаву кількох компонентів і потім вибирати найбільш зручні їх поєднання. Сплав Д19 (3,8...4,3 % Cu; 1,8...2,3 % Mg) високі жароміцні властивості має в тому випадку, коли загальна кількість міді і магнію в сплаві буде рівним 6,1%, що необхідно враховувати при розрахунку шихти. При плавці сплаву АЛ19 (4,5...5,3 % Cu, 0,6...1,0 % Mn, 0,25...0,35 % Ti, <0,3 % Fe,

<0,3 % Si, 0,05 % Mg, решта Al) високі міцність і пластичні властивості виходять в тому випадку, коли вміст міді і марганцю знаходяться на середньому рівні марочного складу сплаву (5 % Cu, 0,8 % Mn, 0,3 % Ti, решта Al). Будь-які відхилення від середнього вмісту цих металів несприятливо позначаються на механічні властивості [35].

Тому при плавці деяких алюмінієвих сплавів доводиться іноді спочатку готувати з чистих металів підготовлений сплав певного хімічного складу, розливати його в чушки, аналізувати склад і потім вже за умови відповідності заданому складу використовувати його в якості вихідної шихти для приготування робочого сплаву, безпосередньо йде для заливки ливарних форм.

Стандартні сплави, технологія плавки яких досить добре відпрацьована, зазвичай готують одноразово з шихтових матеріалів і відразу ж заливають метал в форми.

При плавці первинних шихтових матеріалів спочатку завантажують і розплавляють алюміній, а потім вводять лігатури. Додатки, схильні до угару, наприклад цинк або магній, вводять в розплав в останню чергу, краще під шар флюсу. В умовах виробництва шихта часто складається зі первинних металів (20...60 %) і звороту власного виробництва (80...40 %). У цьому випадку спочатку розплавляють алюміній, а потім вводять зворот власного виробництва, лігатури і інші елементи шихти. При плавці вторинних сплавів в першу чергу розплавляють чушки вторинного сплаву, а потім вже вводять необхідні елементи підшихтовки. Якщо шихта складається з звороту і вторинних сплавів, то зазвичай спочатку розплавляють найбільшу складову частину шихти. Взагалі, якщо складові частини шихти мають близькі температури плавлення, то їх можна завантажувати в піч одночасно. При плавці алюмінію і сплавів на його основі найважливішими елементами технології приготування сплаву є: захист розплаву від окислення і газопоглинання; видалення з розплаву оксидних плівок і водню, т. ін. рафінування сплавів [35].

Розплавлення шихти ведуть форсовано, але не рекомендується надмірно перегрівати розплав. Якщо шихта дрібногабаритна, то для запобігання від

надмірного окислення плавку здійснюють із застосуванням покривних флюсів з суміші хлористих солей, які завантажують разом з металевою шихтою в кількості 2...3 % від маси металу. Після досягнення необхідного перегріву метал контролюють за технологічними пробами на газонасиченість і забрудненість окисними включеннями і в разі необхідності приступають до рафінування та дегазації сплаву. На всьому протязі плавки, починаючи з підготовки шихтових матеріалів, необхідно не допускати зайвого окислення і газонасичення розплаву. Для цього треба ретельно готувати до плавки шихту і очищати її від сторонніх домішок, а також тримати чистими піч і весь інструмент. Чим більше уваги і часу приділяється підготовці шихти і печі, тим менше оксидів і газів виявиться в розплаві і тим легше відрафінувати розплав перед розливанням. Недбала плавка, в тому випадку, коли використовують забруднену, вологу шихту і не просушують футерівку печі (в розрахунку на подальшу очистку розплаву в результаті рафінування та дегазації в кінці плавки), не дає хороших результатів, так як часто легше запобігти попаданню в розплав оксидів і газів, ніж потім звільнитися від них.

Практика плавки алюмінієвих поршневих сплавів показує, що існує прямий зв'язок між кількістю окисних плівок в розплаві і його газонасиченості. Чим більше в сплаві окисних плівок, тим вище газонасиченість. Тому зайвого перемішування розплаву слід уникати, особливо якщо плавку ведуть без покривних флюсів [35].

1.6 Висновки та постановка завдання дослідження

1. Аналіз джерел науково-технічної інформації свідчить, що актуальною проблемою автомобілебудування є забезпечення відповідності вимогам одного з найбільш важливих елементів автомобільного двигуна – поршня.

2. Для виготовлення поршнів використовують чавун, алюмінієві та магнієві сплави, а також сталь. Поршні, переважно роблять з чавуну і алюмінієвих сплавів.

3. Основними перевагами алюмінієвих сплавів як матеріалу для поршнів є їх хороша теплопровідність і низька щільність. Ці сплави досить технологічні, мають відносно високу втомну міцність.

4. Введення в розплав ультра дисперсних порошоків тугоплавких з'єднань дозволяє керувати зернистою структурою на етапі формування процесу кристалізації. Ефективність подрібнення зернистої структури в значній мірі визначається великою кількістю ультра дисперсних часток, які припадають на одиницю об'єму розплаву, які є зародками при кристалізації. Зменшення розміру зерна призводить до підвищення щільності виливка, ліквідації пор газових раковин, тріщиностійкості і підвищення експлуатаційних характеристик.

На підставі наведених висновків і з метою дослідження технологічного процесу виготовлення поршнів із сплаву АК12М2МгН на базі АТ «Полтавський турбомеханічний завод». На основі аналізу причин виникнення браку у роботі поставлено наступні завдання:

1. Виявити недоліки технологічного процесу.
2. Запропонувати технологію оброблення розплаву:
 - обрати тип частинок і технологію отримання модифікатора;
 - розробити ефективний модифікатор для сплаву АК12М2МгН;
 - визначити оптимальну кількість модифікатора.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Технологія плавки сплаву

Плавка, рафінування та модифікування сплаву АК12М2МгН проводилися в лабораторній електропечі опору типу СШОЛ-4,6 / 12-МЗ. У виробничих умовах плавка, рафінування і модифікування сплаву АК12М2МгН проводилися в індукційній тигельній плавильній печі ІТПП-1,5/1,2 ТГ1, потім розплав за допомогою ковшів подавався в роздавальну піч ІТПП-0,5/0,5 ТГ1, з якої за допомогою ручного ковша проводилася заливка розплаву в кокіль. Крім того, в виробничих умовах використовували другу технологію: плавка в печі ІТПП-1,5/1,2 ТГ1, подача розплаву в роздавальну піч ІТПП-0,5/0,5 ТГ1, де потім виробляли його рафінування і модифікування.

Для плавки сплаву АК12М2МгН і модифікування необхідно використовувати такі метаріала:

- вторинні алюмінієві сплави в чушках АК12М2МгН (хімічний склад наведено в табл. 2.1);
- відходи власного виробництва;
- хлористий марганець;
- фторцірконата калію;
- ультрадисперсні порошки нітриду або карбонітриду титану.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сплаву АК12М2МгН.

Марка сплава	Хімічний склад, % за масою								
	Si	Cu	Ni	Mg	Mn	Ti	Fe	Cr	Al
АК12М2МгН	11,0... 13,0	1,5... 3,0	0,8...1,3	0,8...1,3	0,3...0,6	0,05... 0,2	0,8	0,2	Решта

Попередньо підготовляли обладнання, робочий інструмент і матеріали до плавки, футерівка пені ІТПП-1,5/1,2 ТГ1 виконувалася згідно "Технологічної

інструкції на плавку, рафінування та модифікування поршневого сплаву АК12М2МгН". Візуально перед завантаженням шихти оглядався тигель печі і визначалася придатність його до проведення плавки. При роботі печі тигель повинен оглядатися після кожної плавки. При виявленні дефектів в набивном тиглі проводити їх усунення.

Очищалися від бруду і шлаку, і забарвлювалися захисною фарбою тигель роздавальної печі ІТПП-0,5/0,5 ТГ1, ківш, зчищалка і дзвіночок. Захисна фарбі мала наступний склад:

- 50 ваг.ч. крейди (відмученої); 50 ваг.ч. оксиду стусана, 5 ваг. ч.рідкого скла, 100 ваг.ч гарячої води;
- 20...35 % гранітового порошку, просіканими через сито № 063, 5 % рідкого скла модуля 3,2, інше-вода;
- 50 ваг.ч. глини, 5 ваг.ч. рідкого склі, 45 ваг.ч. вода.

Для приготування фарби воду нагрівали до 70...75 °С і поділяли на дві частини: в 1/3 об'єму води змішували рідке скло, в воду, що залишилася вводили сипучі складові (крейда, графіт і ін.), розмішували і фільтрувати через сито № 1. До профільтрованої рідини додавали розчин рідкого скла, перемішували і кип'ятили. Тиглі і плавильний інструмент перед фарбуванням нагрівали до 180...250 °С, а після фарбування – до 200...300 °С.

Як шихтові матеріали необхідно використовувати вторинні сплави в чушках АК12М2МгН, а також зворот власного виробництва. Кількість звороту власного виробництва в шихті не повинна перевищувати 50 % за масою. Очищені від бруду, масла і оксидів шихтові матеріали завантажували в піч. Спочатку завантажували чушки АК12М2МгН в тигель індукційної плавильної печі ІТПП-1,5/1,2 ТГ1. Шихту в тигель укладали щільно. Простір між чушками засипали дрібними частинками звороту власного виробництва. Крім того, проводили дослідні плавки в умовах виробництва з використанням в шихті звороту власного виробництва в кількості до 90 %.

Після розплавлення всієї шихти температуру розплаву доводили до 730...740 °С. З поверхні металу знімали зчищалкою шлак і проводили

рафінування. За допомогою дзвіночка на дно тигля вводили хлористий марганець в кількості 0.3 % від маси розплаву. Після рафінування розплав відстоювався протягом 10...12 хвилин, після чого знімали шлак. Температуру розплаву доводили до 750...760 °C і проводили його модифікування, модифікатор вводили дно тигля. Після закінчення реакції взаємодії модифікатора з розплавом метал ретельно перемішували. Після модифікування розплаву давали відстоятися протягом 10 хв., Після чого з поверхні знімали шлак. Якщо в шихті використовували не більше 30 % звороту власного виробництва, то рафінування розплаву не проводили, тому що при модифікуванні запропонованим модифікатором забезпечується достатній ступінь очищення розплаву від розчинених газів і неметалевих включень.

Після модифікування температура розплаву доводилася до заданої за технологією і розплав розливали в роздавальні печі. Проміжний ківш і тигель роздавальної печі попередньо прогрівали до температури не менше 600 °C.

2.2 Методика дослідження зразків

Плоску поверхню мікрошліфа готували шляхом заточування на шліфувальному верстаті і згладжували гострі кромки по краях напилком. Шліфування плоскої поверхні проводили на грубим наждачним папером до повного зникнення рисок наждачного каменю. Під час шліфування під кожен папір підкладали плоске скло. Потім замінювали напрямок шліфування на перпендикулярний і повторювали шліфування до зникнення рисок від попередньої шліфовки, шліфування виробляли на тому ж папері. Ретельно обтирали руки і шліфи ватою і замінювали шліфувальний папір на інший номер. Потім виробляли шліфування в напрямку, перпендикулярному рискам від попереднього паперу до повного їх зникнення. У такій же послідовності виробляли шліфування на наступному номері паперу.

Далі шліфування виробляли за трьома номерами пасти ГОІ на шліфувальному верстаті. Тривалість шліфування 2...5 хвилин на кожному колі.

Після закінчення шліфування на кожному колі виробляли промивку шліфа і рук в проточній воді.

Після цього виробляли полірування шліфа на диску, покритому сукном. Через кожну хвилину підливали розчин гідроксиду алюмінію. По закінченню полірування шліфи просочували спиртом. Проводили аналіз нетравленого шліфа.

Травлення поверхні шліфа проводили реактивами 20, 30 і 55. До складу 20 входили компоненти в кількостях: плавикової кислоти $0,5 \text{ см}^3$ і води 100 см^3 . Реактив 30 складався з $0,5 \text{ г NaF}$, $1 \text{ см}^3 \text{ HNO}_3$, $2,4 \text{ см}^3 \text{ HCl}$, $100 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}$. Реактив 55 отримували насиченням на холоді розчину HCl .

Мікроструктурні дослідження виконували на просвічуючому електронному мікроскопі ПЕМ-У (модернізований).

Дослідження хімічного складу зразків проводили в центрі електронної мікроскопії при КІП на мультіелементному прецизійному експрес-аналізаторі хімічного складу сплавів "Expert 31".

Рентгеноструктурні дослідження зразків проведено на сучасному рентгенівському дифрактометрі Ultima-IV, ф. Rigaku.

Для дослідження механічних властивостей сплаву АК12М2МгН відливали в металевий кокіль стандартні зразки діаметром 12 мм і розрахункової довжини 60 мм відповідно до ГОСТ 2685-75.

Після обрізки надливів, зачистки і розмітки зразки відповідно до ГОСТ 1497-61 випробовувалися на розривній машині типу FP 100/1. Циліндричний зразок, закріплювали в затискачах розривної машини і повільно розтягували, поступово збільшуючи зусилля машини до розриву. Межа міцності сплаву визначали за шкалою машини як відношення зусилля розриву до площі поперечного перерізу зразка.

Після випробування довжини зразка збільшувалася. У середній частині зразок зменшувався в поперечному перерізі на деяку величину. Збільшення довжини і зменшення поперечного перерізу зразка характеризують пластичні властивості сплаву. Чим більше відносне подовження зразка і відносне звуження

його поперечного перерізу, тим сплав є пластичніший і тим менше небезпека крихкого руйнування деталі з цього сплаву при її великому навантаженні.

Твердість сплаву визначали безпосередньо на випробовуваних зразках за допомогою приладу ТШ-2М відповідно до ГОСТ 9012-50. При цьому на зразку попередньо зачищали майданчик. Зразок, розташований на столику приладу, підводився до зіткнення з кулькою діаметром 10 мм. Потім на нього передавалася навантаження, плавно збільшується до величини 1000 кг. Кулька при цьому вдавлювалася в поверхню випробуваного зразка. Після зняття навантаження діаметр відбитка вимірювали за допомогою мікроскопа МПБа. Користуючись таблицею, визначали твердість в одиницях Брінеля.

Средньоквадратична похибка при вимірюванні міцності становила $\pm 3,3$ МПа; відносного подовження - $\pm 0,8$ % твердості - $\pm 11,6$ МПа.

2.3 Висновки до розділу 2

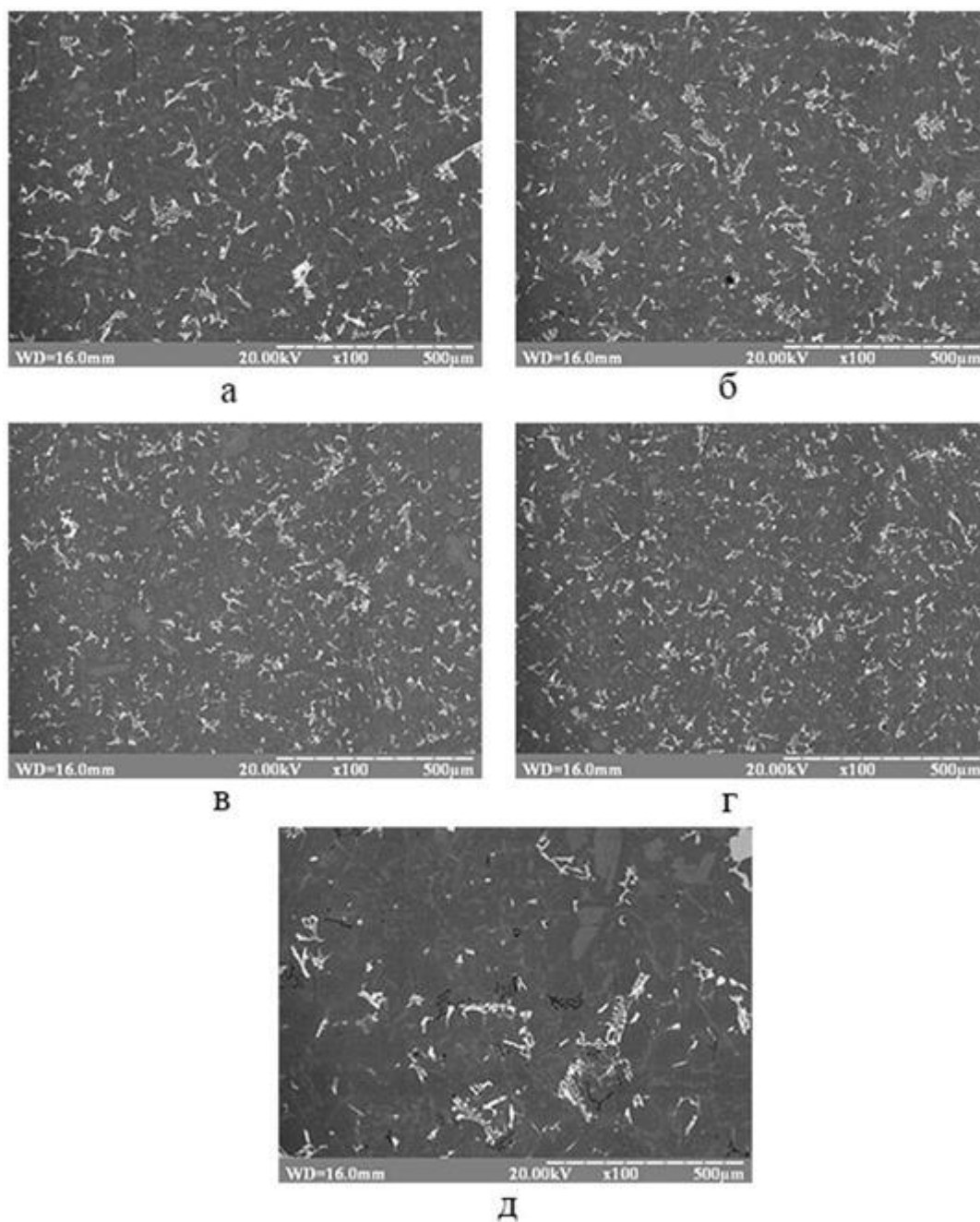
1. Матеріалом дисертаційної роботи є промисловий сплав АК12М2МгН, виготовлений з брухту та відходів, призначений для проведення дослідження технологічного процесу отримання поршнів.

2. Комплекс методів і методик, використаний в роботі, надає інформацію про особливості будови розплаву, хімічний склад, структуру, фазовий склад і механічні властивості сплаву АК12М2МгН.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Результати проведених досліджень

Після отримання зразків поршнів, була досліджена структура закристалізованих сплавів системи Al–Si, яку показано на рис. 3.1.



а – чушка; б – 680 °С; в – 700 °С; г – 720 °С; д – переплав

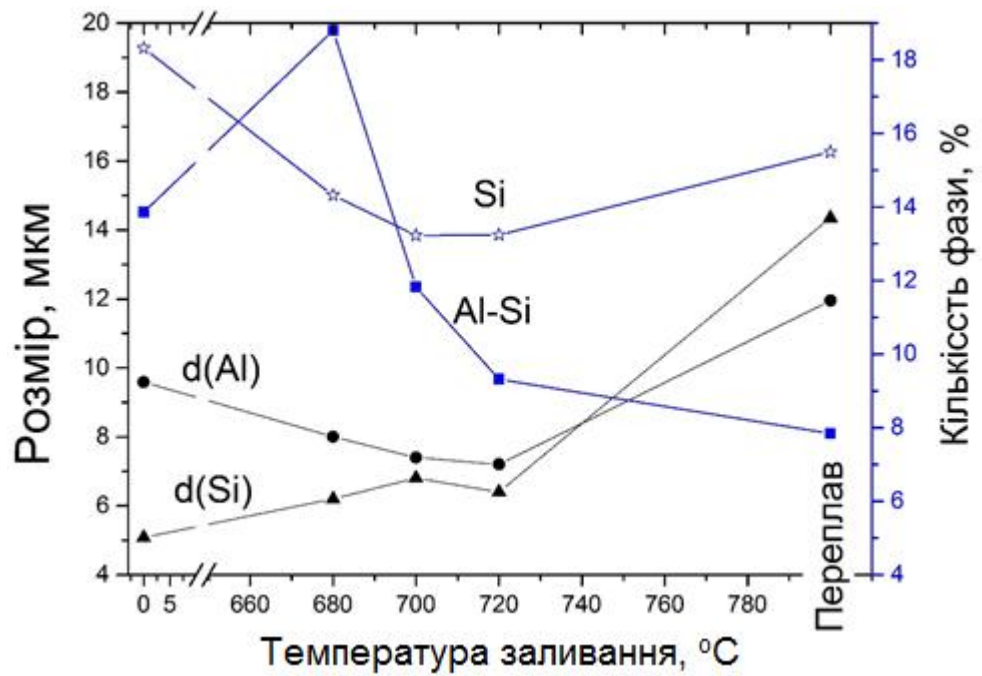
Рисунок 3.1 – Мікроструктури сплаву АК12М2МгН за різних температур заливання.

Досліджуючи структуру методом РЕМ було встановлено існування 3 фаз, а саме: білої фази, яка відповідає хімічному складу Al–Si, сірої фази яка відповідає кремнію, та темна фаза – матриці. Аналізуючи отриманні результати, можна побачити, що чушка та поршень відлитий за температури 680 °С, характеризується рівномірним розподілення білої фази, та тонка структура сірої фази (рис. 3.1 а,б). Однак при підвищенні температури заливання, до 700 – 720 °С спостерігається подрібнення білої фази (рис. 3.1 в,г), та часткова коалесценція сірої фази, кремнію (рис. 3.1 в). При повільному охолодженні (переплав) процес коалесценції проявляється найбільше (рис. 3.1 д).

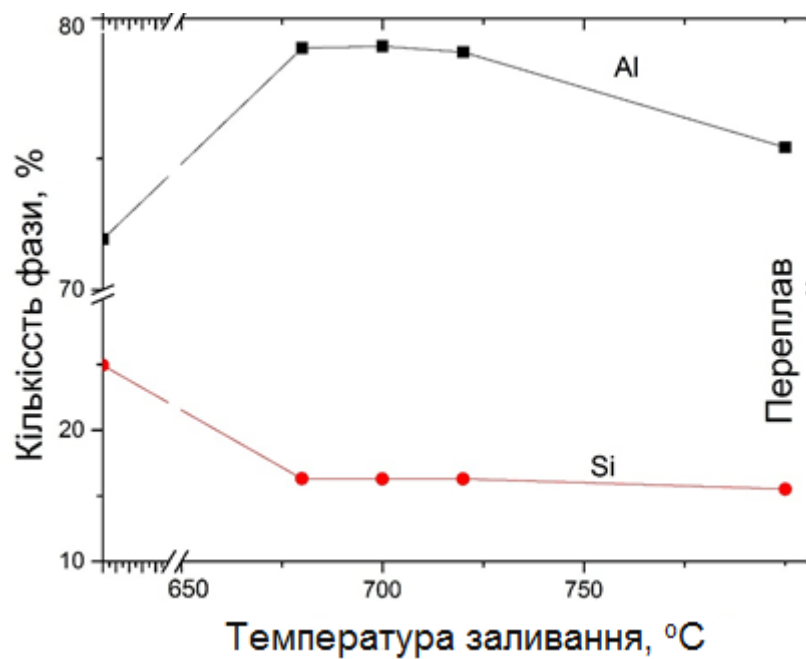
Відповідно до діаграми стану, даний сплав можна характеризувати, як заевтектичний, так як в ньому основною фазою є алюміній із включенням евтектики Si–Al, проте при повільному охолодженні спостерігається евтектична структура. Проводячи детальний аналіз структурних показників, таких як розподілення білої фази та її розмір, можна побачити наступні залежності, які показано на рис. 3.2.

Найбільша кількість білої фази спостерігається, при заливанні поршня за температури 680 °С, однак при підвищенні температури кількість даної фази зменшується і зростає кількість сірої (кремнію). Також слід відмітити зміну розміру зерна. Так при підвищенні температури заливання розмір включень зменшується, за рахунок більшого переохолодження при заливанні, а при повільному охолодженні (переплав) зерна мають велику та рівновісну форму, що відповідає теоретичним свідченням.

Для встановлення точного хімічного, аналізу було проведено рентгенно структурні дослідження, які показано на рис. 3.3. Як видно із отриманих результатів, найбільшу інтенсивність мають лінії алюміній, через менший коефіцієнт відбиття чим кремній.

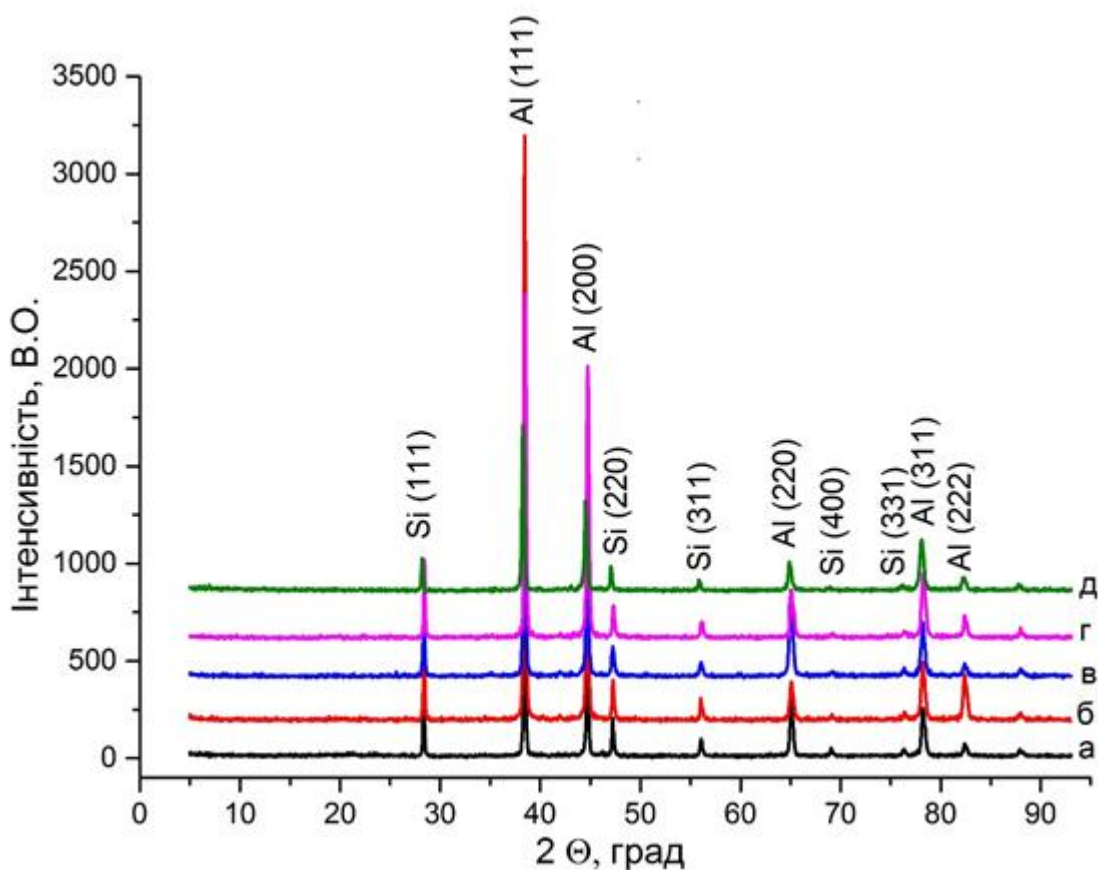


а



б

Рисунок 3.2 – Залежність діаметру фаз та їх кількості (а) від температури заливання розрахованій по структурі та кількість кремнію й алюмінію відповідно МРСА (б).



а – чушка; б – 680 °С; в – 700 °С; г – 720 °С; д – переплав

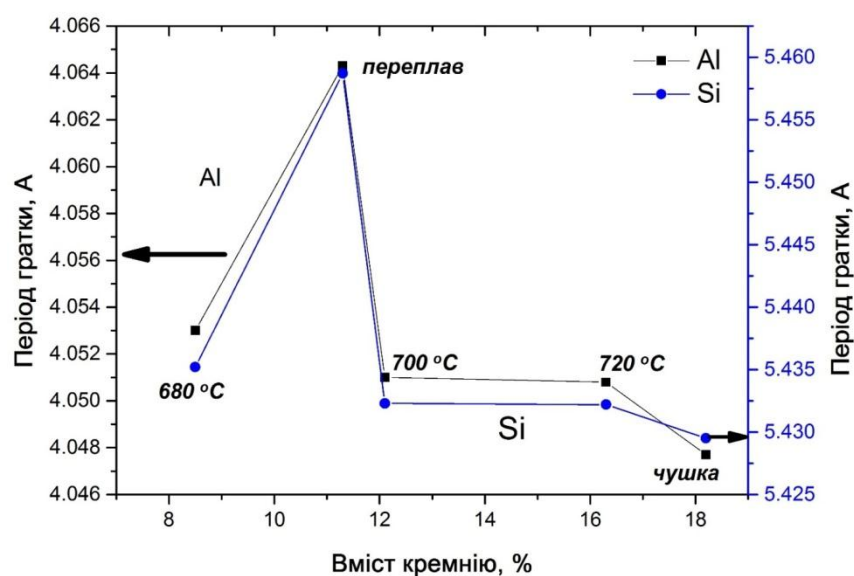
Рисунок 3.3 – Рентгенограма сплаву Al–Si за різних температура заливання.

Проводячи кількісний аналіз отриманих результатів, можна побачити, що найбільша кількість кремнію спостерігається в вихідній сировині. При температурі заливання можна спостерігати зменшення вмісту кремнію в усіх випадках, тобто наближення до евтектичного складу (табл. 3.1). Слід відмітити, що найменша кількість кремнію спостерігається при заливанні за температури 680 °С. Найбільш доцільною температурою заливання даного сплаву є температура 720 °С, так як відповідно до діаграми стану зберігається хімічний склад евтектики.

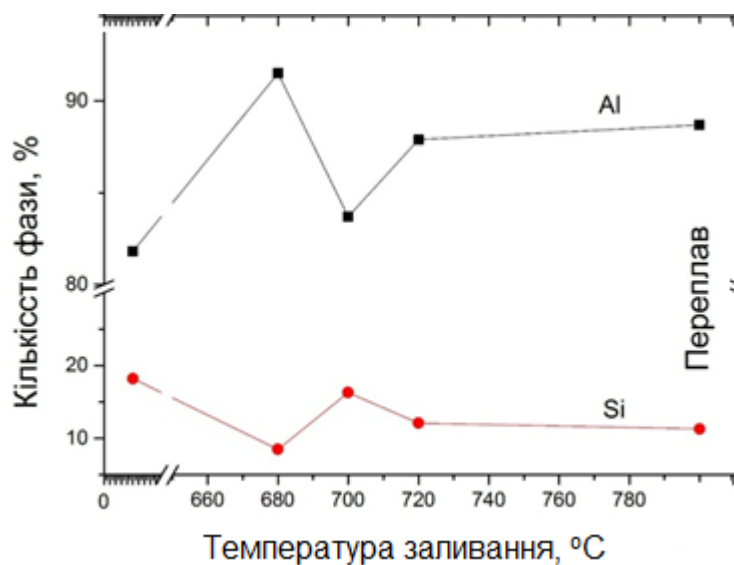
Якщо звернути увагу, на зміну параметру ґратки алюмінію, та кремнію (табл. 3.1) і зробити залежність від вмісту кремнію, то можна побачити наступну залежність показано на рис. 3.4 а.

Таблиця 3.1 – Вміст кремнію в сплаву Al–Si в досліджуваних зразках.

Режим	Вміст кремнію, %	d (Al),	d,(Si)
Чушка	18,2	4,0477	5,4295
680 °C	8,5	4,0530	5,4352
700 °C	16,3	4,0508	5,4322
720 °C	12,1	4,0510	5,4323
Переплав	11,3	4,0643	5,4587



а



б

Рисунок 3.4 – Залежність параметру гратки Si, Al від вмісту кремнію в сплаві Al–Si (а) та вміст останніх за різних температур заливання (б).

Особливу увагу привертає до себе пік параметрів ґратки, який виник при вмісті кремнію 11,3 %. Тобто при переплаві (повільному охолодженні) сильно зріс період ґратки, так як період ґратки чистого кремнію становить 5,4307 Å, а алюмінію 4,0500 Å відповідно. Відповідно до діаграми стану наведеній на рисунку 5, евтектика можлива при вміст 11,3 % тобто даний пік пояснюється утворенням евтектичного складу під час кристалізації.

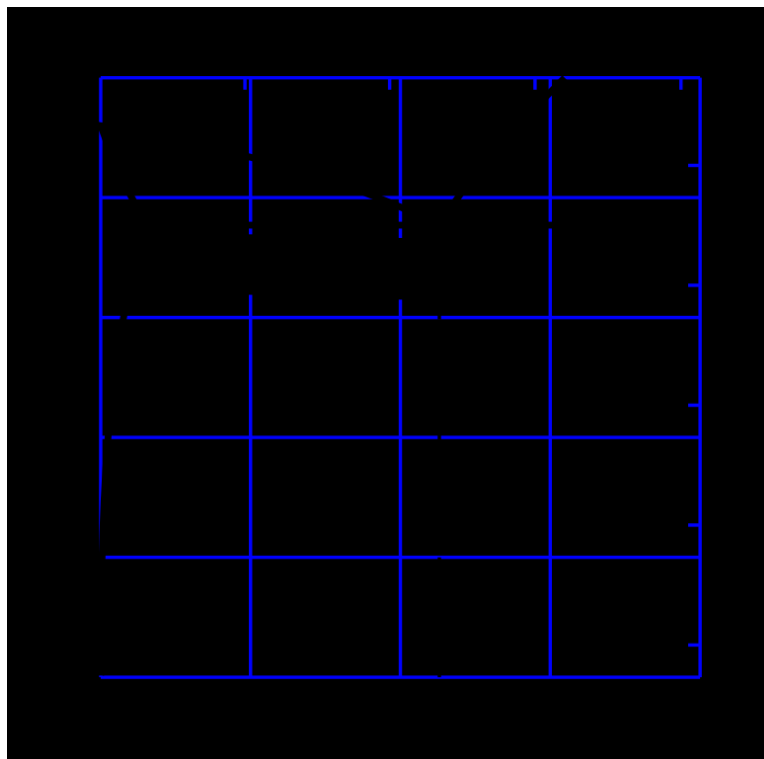


Рисунок 3.5 – Діаграма стану Al–Si [25].

Також слід відмітити, що при заливанні за температури 720 °С, після кристалізації спостерігається збільшення інтенсивності лінії 200 Al, що можливо свідчить про одну із площини кристалізації сплаву.

Слід також відмітити, що різниця між кількісним аналізом МРСА та РФА закладається в тому, що перший відноситься до малої кількості досліджуваної речовини і при великій може давати помилку, а інший розрахований на високу точність визначення об'ємних складових.

З отриманих результатів хімічного аналізу (талб. 3.2) можемо спостерігати

високий вміст кремнію в усіх зразках, а також збільшення вмісту заліза від 0.551 мас.% в чушці до 1.419 мас.% в переплаві.

Таблиця 3.2 – Хімічний аналіз зразків сплаву АК12М2МгН.

	Чушка	680°C	700°C	720°C	Переплав
	Елемент Мас. доля, %	Елемент Мас. доля, %	Елемент Мас. доля, %	Елемент Мас. доля, %	Елемент Мас. доля, %
Al	71,931	79,200	79,285	79,055	75,427
Si	24,924	16,297	16,283	16,507	15,056
Fe	0,551	0,729	0,680	0,705	1,419
Cu	1,312	2,107	2,062	2,136	4,685
Mn	0,128	0,164	0,150	0,151	0,302
Zn	0,128	0,182	0,169	0,165	0,415
Ni	0,823	1,136	1,106	1,096	2,277
Ti	0,072	0,058	0,063	0,055	0,104

3.2 Вибір типу частинок і технологія отримання модифікатора

У вторинних алюмінієвих сплавах можуть бути присутніми фази з параметрами решітки, зазначеними в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Фазові складові сплавів на основі алюмінію і параметри їх решітки.

Фаза	Тип решітки	Параметри решітки, нм			
		a	b	c	c/a
Al	ГЦК	0,405			
MgZn ₂	ГЦК	0,518		0,851	1,664
Mg ₂ Si	ГЦК	0,641			
FeAl ₃	Ромбічна	1,549	0,808	1,248	
ZnAl ₂	Гексагональна	0,528		0,875	1,658
Al ₂ Mg ₃ Zn ₃	ОЦК	1,419			
Si	Кубічна	0,543			
FeAl ₄ Be ₅	Моноклинна	0,772	0,446	0,4542	
FeAlBe ₄	ГЦК	0,606			
Mg ₃ Zn ₃ Al ₂	Кубічна	1,429-1,417			

Для зміни умов кристалізації або виділення базових складових необхідно підібрати УДП, частинки якого були б зародками відповідних фаз.

Найбільш поширеними і легко отримуються в промисловості є УДП: AlN , Si_3N_4 , TiC , $\text{Ti}(\text{CN})$.

Нітрид алюмінію володіє гексагональною ґраткою типу вюрцита з параметрами: $a = 0,31 \text{ нм}$, $c = 0,496 \text{ нм}$, $a/c = 1,60$.

Нітрид кремнію володіє орторомбічною ґраткою з параметрами: $a = 1,336 \text{ нм}$, $b = 0,660 \text{ нм}$, $c = 0,77 \text{ нм}$.

Карбід титану володіє кубічною ґраткою типу CZr_3 з параметрами: $b = 0,432 \text{ нм}$, а нітрид титану – кубічною ґраткою з параметром $a = 0,424 \text{ нм}$. Середній розмір параметра кубічної решітки карбонітрида титану дорівнює $a = 0,428 \text{ нм}$.

Для того, щоб частинка УДП була центром кристалізації фази, необхідно змочування її розплавом і відповідність решіток не нижче 92 %. Невідповідність параметрів решіток фаз сплавів і УДП що не перевищує 8% наведено в табл. 3.4.

Мінімальна невідповідність параметрів решітки УДП і чистого кремнію перевищує 8 %. Однак в одержуваному УДП Si_3N_4 міститься до 25 % чистого кремнію. Цей кремній може бути центром кристалізації для кремнієвої складової сплаву, оскільки при температурах плавлення металевий кремній розчиняється слабо.

Таким чином, центром кристалізації чистого α -твердого розчину алюмінію можуть бути УДП TiC , TiN і TiCN . Для інших фаз перевагу слід віддати УДП нітриду кремнію і титану, оскільки відповідність спостерігається в межах однієї елементарної решітки, (для з'єднань інших металів відповідність спостерігається в межах 2,3 і 5 елементарних осередків).

Для модифікатора обираємо УДП нітридів титану і кремнію. Оскільки об'ємна частка α -твердого розчину алюмінію над іншими фазами перевищує, то в модифікаторі слід мати перевищений вміст нітриду титану в порівнянні з іншими УДП.

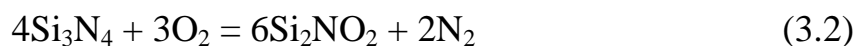
З термодинамічної точки зору найкращими є нітрид кремнію і титану,

оскільки вони володіють низькою пружністю дисоціації.

Таблиця 3.4 – Невідповідність параметрів решіток карбідів і нітридів решіткам фаз, існуючих в алюмінієвих сплавах.

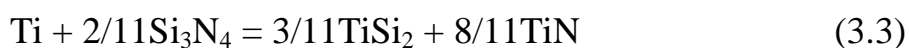
№	Фаза	Параметр решітки	УДП	Параметр решітки	Невідповідність параметрів решіток, %
1	Al	a	TiC	a	6,79
			TiN	a	4,69
			Ti(NC)	a	5,68
2	MgZn ₂	a	AlN	c	3,68
		c	Si ₃ N ₄	b	1,06
			TiC	ax2	До 1,0
			TiN	ax2	До 1,0
			Ti(NC)	ax2	До 1,0
3	Mg ₂ Si	a	AlN	ax2	3,27
4	FeAl ₂	a	AlN	ax5	0
		b	SiN ₄	cx3	3,55
			TiN	b	6,45
			TiC	cx2	5-7
			Ti(NC)	cx2	5-7
5	ZnAl	a	AlN	cx2	5-7
		c	SiN ₄	c	5,68
			TiC	b	1,71
			TiN	ax2	1-3
			Ti(NC)	ax2	1-3
6	Al ₂ Mg ₃ Zn ₃	a	Si ₃ N ₄	ax2	1-3
7	FeAl ₄ Be ₅	a	Si ₃ N ₄	a	5,70
		b	TiC	c	0,26
			TiN	a	До 5,0
			Ti(NC)	a	До 5,0
		c	TiC	a	До 5,0
			TiN	a	До 6,6
			Ti(NC)	a	До 6,6
			TiN	a	До 6,6
8	FeAl ₄ Be ₅	a	AlN	ax2	2,38
9	Mg ₃ Zn ₃ Al ₂	a	Si ₃ N ₄	a	6,8-8,9

Нітрид кремнію практично не окислюється на повітрі при температурах до 930 °С [43], і лише понад цієї температури на його поверхні утворюється тонкий шар оксинітрида кремнію (при 1030...1130 °С). Окислюється всього кілька відсотків нітриду кремнію. Виявляються сліди α -кристаболіту:



При взаємодії нітриду алюмінію з розплавом виявлено, що він не змочується розплавом до температури 1130 °С, а понад цієї температури змочування відбувається, проте перехідна зона в системі Al–AlN відсутня. Підвищення мікро - твердості алюмінію поблизу нітриду свідчить про часткове розчиненні нітридної фази.

Нітрид кремнію так само незмочується алюмінієм при тих же температурах. Однак у випадку більш високих температур спостерігається взаємодія з утворенням перехідної зони. Нітрид кремнію може взаємодіяти з титаном з утворенням TiS_2 і TiN [44]. Причому ступінь взаємодії залежить від ступеня контакту між фазами:



Ця реакція протікає при температурі 930 °С.

З огляду на це запропоновано технологію отримання модифікатора, яка полягала в отриманні композиції УДП нітриду титану і фторцирконату калію шляхом ретельного перемішування.

Для модифікування сплавів був обраний модифікатор, який представляє собою суміш, що складається з 97 масових частин фторцирконату калію і 3 масових частин УДП нітриду титану.

На підставі проведених досліджень як в лабораторних, так і в промислових умовах виплавки сплаву АК12М2МгН засвоюваність такого модифікатора

становила 89...92 %.

3.3 Вибір оптимальної кількості модифікатора

Для визначення оптимальної кількості порошкоподібного модифікатора, що представляє собою суміш фторцирконату калію K_2TiF_6 і нітриду титану TiN , що вводиться в сплав $AK12M2MgH$, були проведені плавки в лабораторних і промислових умовах. При плавці першої партії зразків модифікатор не вводився в розплав. У наступних плавках кількість модифікатора змінювалася від 0,25 до 2,5 % від маси розплаву. Від кожної плавки відбиралися зразки для визначення хімічного складу сплаву. Так само відливалися зразки для випробування на міцність, відносне подовження і твердість сплаву.

З метою отримання більш високих механічних властивостей і поліпшення оброблюваності різанням виливків, отриманих в кокіль, коли відбувається часткове гартування в процесі швидкої кристалізації сплавів, раніше виплавлені зразки піддавалися термічній обробці за режимом T1 – штучне старіння: нагрів протягом 10 годин при температурі 190 ± 5 °C.

На підставі експериментальних даних отримана залежність механічних властивостей модифікованого сплаву $AK12M2MgH$ від кількості введеного модифікатора та термообробки по режиму T1 (табл.3.5).

Заміна у складі модифікатора фтортитанату калія в тій же кількості на фторцирконат калію практично не впливає на механічні властивості сплаву $AK12M2MgH$.

Структура бінарного сплаву системи $Al-Si$ при звичайних умовах і кристалізації складається з двох фаз: твердого розчину кремнію в алюмінію (α -фазі) і твердого розчину алюмінію в кремнію, кристали якого в силу надзвичайно малої розчинності алюмінію в кремнію прийнято називати просто кристалами кремнію. α -фаза являє собою порівняно м'яку і пластичну фазу, а кремній характеризується високою твердістю і крихкістю. У структурі сплавів системи $Al-Si-Cu-Mg$ залежність від концентрацій окремих компонентів можуть бути

присутніми фази: α , Si, CuAl_2 , S (Al_2CuMg), T (Al_2CuMg_4), β (Mg_2Al_3), Mg_2Si і W ($\text{Al}_4\text{CuMg}_5\text{Si}_4$ або $\text{Al}_5\text{Cu}_5\text{Mg}_8\text{Si}_6$). На фазовий склад сплавів системи: алюміній-кремній-мідь-магній, впливає величина відношення %Mg/%Si. При %Mg/%Si 1,73 фаза Mg_2Si не утворюється і в сплавах присутні фази: α , Si, CuAl_2 , W.

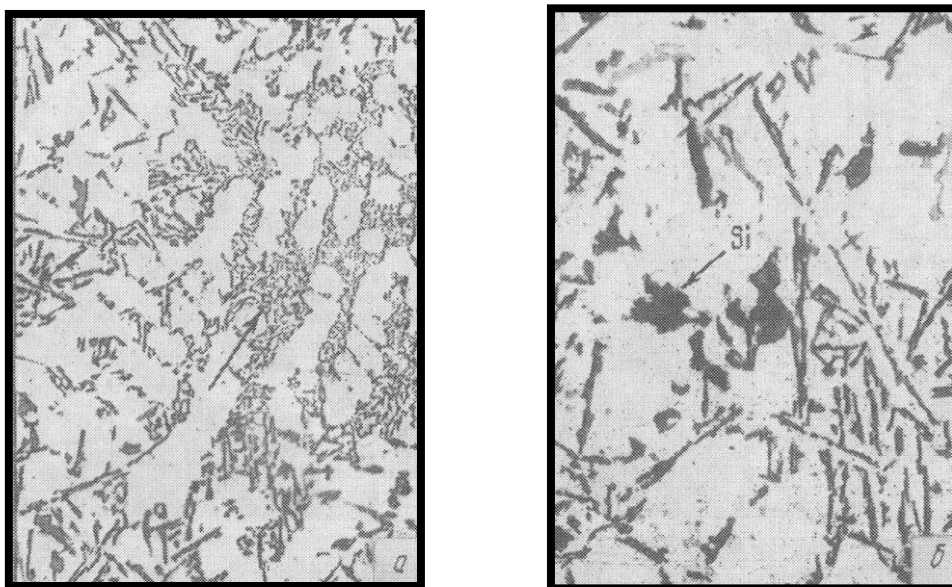
Таблиця 3.5 – Залежність механічних властивостей АК12М2МгН від кількості введеного модифікатора.

Номер плавки	Режим ТО	Кількість модиф. мас%	Механічні властивості сплаву			Пористість, бал
			σ_B , МПа	δ , %	Твердість, НВ	
1	Литої Т0	0	160	0,5	75	2
			190		90	
2	Литої Т1	0,25	180	0,7	80	2
			215		110	
3	Литої Т1	0,50	185	1,0	81	1
			240		120	
4	Литої Т1	0,75	185	1,0	83	1
			241		120	
5	Литої Т1	0,00	187	1,0	81	1
			240		120	
6	Литої Т1	1,50	186	1,0	85	1
			240		120	
7	Литої Т2	2,00	186	0,8	84	1
			241		110	
8	Литої Т1	2,50	186	0,8	87	1
			241		118	

Дослідженням мікроструктури немодифікованого сплаву АК12М2МгН встановлено, що при кристалізації розплаву кремній виділяється у вигляді кристалів з максимальним розміром до 100 мкм. Модифікування розплаву УДЧ

нітриду титана впливає на розмір і форму частинок кремнію. Оптимальні результати отримані при введенні в розплав 0,5 - 0,75 % модифікатора від маси розплаву (рис.3.6). Розміри зерен в порівнянні з литим станом зменшуються. Форма частинок кремнію стала ближчою до сферичної і зменшилася в розмірах до 10 мкм.

Аналіз експериментальних даних механічних властивостей і мікроструктури сплаву АК12М2МгН дозволяє зробити висновок, що для стабілізації твердості і підвищення механічних властивостей необхідно модифікувати розплав модифікатором в кількості більше 0,25 % від маси шихти. З огляду на економічну сторону процесу отримання поршнів, доцільно вводити модифікатор в кількості 0,5 – 0,75 % від маси розплаву.



а – модифікований; б – не модифікований

Рисунок 3.6 – Мікроструктури сплаву АК12М2МгН.

3.4 Комплексний модифікатор для сплаву АК12М2МгН

Позитивний ефект модифікування досягається за рахунок введення в розплав частинок, параметри кристалічних решіток яких відповідають параметрам основних фаз сплаву АК12М2МгН. Це досягається введенням у розплав УДЧ нітридів або карбонітридів титану. Запропонований модифікатор, що є механічною сумішшю фторцирконату калію (або фтортитанату калію) і УДЧ нітриду титану, вимагає значного перегріву розплаву для його введення, що може привести до зниження механічних властивостей і підвищеного горіння легуючих елементів. Введення до складу модифікатора хлористого марганцю сприяє зниженню його температури плавлення до 400...450 °С. Це дозволяє здійснити введення модифікатора при переливанні його з плавильної печі в проміжний ківш або роздавальну піч. Введення модифікатора в струмінь рідкого металу підвищує ефективність модифікування за рахунок того, що модифікатор який вводиться при цьому розосереджується по всьому об'єму розплаву через значне перемішування, що призводить до різкого збільшення поверхні зіткнення метал-модифікатор і більш повного переходу тугоплавких нітридів і утворення з'єднань $ZnAl_3$ і $TiAl_3$.

Хлористий марганець зазвичай використовується для рафінування алюмінієвих сплавів. Тому введення його до складу модифікатора дозволить виключити окремо проведену операцію - рафінування сплаву АК12М2МгН, при введенні в шихту до 30% звороту власного виробництва.

Для дослідження впливу вмісту компонентів модифікатора на властивості сплаву АК12М2МгН були проведені дослідні плавки сплаву в печі ІТПП-1,5/1,2 ТГ1. Для цього компоненти модифікатора сплавляли в різному відсотковому співвідношенні за масою (табл. 3.6).

При температурі 700...720 °С розплав переливали з печі ІТПП-1,5/1,2 ТГ1 в проміжний ківш для транспортування його в роздаткові печі і в струмінь металу вводили модифікатор. Після введення модифікатора розплав відстоювали протягом часу транспортування ковша до роздавальної печі (зазвичай 5 хв). Після

чого з поверхні розплаву зчищати шлак і розплав переливався в роздавальну піч. З роздавальної печі відбирали зразки для аналізу.

Таблиця 3.6 – Склад комплексного модифікатора, мас.%.

Індекс позиції	Нітрид титану	Хлористий марганець	Фторцирконат калію
1	5,0		95,0
2	7,0	38,0	55,0
3	8,0	40,0	52,0
4	9,0	42,0	49,0
5	10,0	45,0	45,0
6	11,0	47,0	49,0

Таблиця 3.7 – Залежність властивостей сплаву АК12М2МгН від складу комплексного модифікатора.

номер складу модифікатора	Властивості сплаву		
	Тимчасовий опір розриву, МПа	Твердість, НВ	Пористість, бал
1	220	105	2
2	230	128	3
3	242	136	2
4	280	145	1
5	247	137	1
6	220	132	3
7*	210	100	2

Модифікатор вводили в кількості 0,5% від маси розплаву. Аналіз отриманих результатів показує, що максимальними механічними властивостями і мінімальною пористістю володіє сплав АК12М2МгН, оброблений комплексним модифікатором (табл 3.7).

За властивостями модифікованого сплаву АК12М2МгН можна зробити висновок, що сплавлений комплексний модифікатор повинен містити компоненти, мас. %:

- УДП нітриду титану – 8...10;
- хлористий марганець – 40...45;
- фторцірконата калію – решта.

Дослідженнями встановлено, що більш високими властивостями володіє сплав, модифікований комплексним модифікатором в порівнянні з модифікуванням механічною сумішшю цих компонентів (табл. 3.8).

Таблиця 3.8 – Залежність властивостей сплаву АК12М2МгН при модифікуванні механічною і сплавленою сумішшю.

Від модифікатора	Склад модифікатора, %			Механічні властивості сплава		
	MnCl ₂	TiN	K ₂ ZnF ₆	σ _в , МПа	Твердість НВ	Пористість бал
Мех.суміш	42	9	49	225	120	2
Сплавлен.суміш	42	9	49	280	145	1
Мех.суміш	88	12		245	115	2
Сплавлен.суміш	88	12		240	120	1
Мех.суміш		25	75	240	125	2
Сплавлен.суміш		25	75	250	120	2

Досліджено вплив кількості введеного комплексного модифікатора на властивості сплаву АК12М2МгН. Введення в розплав сплавленої суміші компонентів в кількості менше 0,5 % від маси розплаву не робить необхідної модифікуючої дії через малу кількість введених в розплав УДЧ нітриду титану. Введення модифікатора в кількості більше 1,0 % призводить до ефекту перемодифікування і не забезпечує підвищення механічних властивостей сплаву. Тому оптимальною кількістю введеного в розплав модифікатора слід вважати 0,5...0,7 % від маси розплаву.

3.5 Висновки до розділу 3

Поетапним аналізом технологічного процесу виготовлення поршня виявлено:

1. Невідповідність хімічного складу вихідних шихтових матеріалів до ДСТУ 2839-94 та супровідної технічної документації.
2. Відхилення від карт технологічного процесу під час контролю температури перегрівання розплаву та температури його заливання.
3. Недотримання вимог щодо підготовки металевої форми до заливання (нанесення теплоізоляційного покриття).

Розроблено спосіб приготування модифікатора для модифікування сплаву, який являє собою механічну суміш, що складається з 97 мас. частинок фторцирконату калію та 360 мас. частинок нітриду титану.

Установлено, що для стабілізації твердості і підвищення механічних властивостей сплаву доцільно додавати модифікатор в кількості 0,5–0,7 % від маси розплаву.

Розроблено комплексний модифікатор для сплаву АК12М2МгН, що представляє собою сплавлену суміш, що складається з 6...10 мас. % нітриду титану, 40...45 мас. % хлористого марганцю, 52...45 мас. % фторцирконату калію.

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО – ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Науково-технічна актуальність теми дослідження

Актуальною проблемою автомобілебудування є забезпечення відповідності вимогам одного з найбільш важливих елементів автомобільного двигуна – поршня. Він відіграє велику роль в процесі перетворення хімічної енергії палива спочатку в теплову, а потім в механічну. В силу безлічі функцій і суперечливості властивостей поршень є одною з найскладніших деталей мотора. Таке положення підтверджується тим, що небагато автомобілебудівних компаній займаються самостійно проектуванням і виготовленням їх для своїх моторів. Це все є технологічно складно, практично нездійсненно в умовах стандартного машинобудівного виробництва, тому проблема відповідності поршня вимогам модифікованого мотора стає великим випробуванням для багатьох компаній котрі займаються тюнінгом [1].

Для виготовлення поршнів використовують чавун, алюмінієві та магнієві сплави, а також сталь. Поршні, переважно роблять з чавуну і алюмінієвих сплавів [2].

Основними перевагами алюмінієвих сплавів як матеріалу для поршнів є їх хороша теплопровідність і низька щільність. Ці сплави досить технологічні, мають відносно високу втомну міцність.

Чавун як матеріал для поршнів проти алюмінієвих сплавів володіє такими позитивними властивостями: вищими твердістю і зносостійкістю, жароміцністю, однаковим коефіцієнтом лінійного розширення з матеріалом гільзи. Останнє дозволяє істотно зменшити і стабілізувати по режимам роботи зазори в зчленуванні спідниці поршня – циліндр. Однак велика щільність не дозволяє використати його широко для поршнів високооборотних автомобільних двигунів. Цей недолік то, можливо частково знівельований включенням до структури чавуну з кулястим графітом, що дозволяє відливати елементи поршня значно нижчою товщини. Відповідно до сказаного вище, ні силуміни, ні чавун повною мірою не є оптимальними матеріалами виготовлення поршнів [3].

Втратили практичну цінність і поршні з магнієвих сплавів, основу яких становить магній, сплавлений з 5...10 % алюмінію. Такі сплави відрізняються малою питомою вагою ($1,8 \text{ г/см}^3$), але не мають потрібної міцності. Поршні з магнієвих сплавів використовуються для гоночних автомобілів.

Сталеві поршні для дизельних двигунів легкових автомобілів мають відмінні характеристики і великий потенціал зниження викидів CO_2 .

Як відомо, поршень працює в дуже складних умовах високого тиску і температур, відчуваючи при цьому величезні навантаження. Тому актуальним є завдання мінімізації дефектів газоусадкового походження, які унеможливають якісну роботу поршнів

Головними причинами виникнення такого браку може бути: недотримання технологічного процесу, невідповідність складу та якості шихтових матеріалів, діючим стандартам, низька культура виробництва.

4.2 Мета і завдання НДР

Метою даної роботи є отипізація технологічного процесу отримання бездефектних поршнів з алюмінієвого сплаву АК12М2МгН по ДСТУ 2839-94.

Завданням даної роботи було:

- опрацювання фахових публікацій з даного напрямку;
- розробка методики проведення дослідження;
- дослідити структуру та фазовий склад зразків;
- оптимізувати технологічний процес виготовлення поршнів із сплаву АК12М2МгН.
- формулювання висновків по роботі та надання відповідних рекомендацій.

4.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження

Робота виконувалася на кафедрі ливарного виробництва КПІ імені Ігоря Сікорського.

Планова кошторисна вартість (собівартість) НДР розраховувалась по наступних статтях витрат:

- заробітна плата науково - дослідницького персоналу;
- єдиний соціальний внесок;
- вартість матеріалів, необхідних для виконання НДР;
- вартість спеціального обладнання для проведення експерименту;
- інші прямі невраховані витрати;
- накладні витрати.

4.3.1 Визначення заробітної плати науково-дослідницького персоналу

Розрахунок заробітної плати науково-дослідницького персоналу базується на визначенні трудомісткості робіт окремих виконавців та їхньої денної заробітної плати (враховуючи кількість виконавців, їхню кваліфікацію і завантаженість роботою на різних етапах НДР).

У виконанні нашої НДР приймали участь чотири виконавці доцент, кандидат технічних наук; асистент викладача, без наукового ступеню; інженер-дослідник (магістр) та технік 1 категорії. Для кафедри ливарного виробництва чорних та кольорових металів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» місячні посадові оклади заробітної плати складають:

- доцент, кандидат технічних наук – 10944 грн.;
- асистент викладача, без наукового ступеню – 8928 грн.;
- інженер-дослідник (магістр) – 0 грн.;
- технік 1 категорії – 4731 грн.

Денна заробітна плата кожного з виконавців визначається як місячна заробітна плата, поділена на середню кількість днів у місяці, що при п'ятиденному робочому тижні становить 21,2. Таким чином, величина денної заробітної плати виконавців складає для:

- доцент, кандидат технічних наук – 516,23 грн.;

- асистент викладача, без наукового ступеню – 421,13 грн.;
- інженер-дослідник (магістр) – 0,00 грн.;
- технік 1 категорії – 223,13 грн.

Таблиця 4.1 – Трудомісткість макроетапів виконання НДР.

Макроетапи дисертації	Трудомісткість, людино – дні			
	доцент, кандидат технічних наук	асистент викладача, без наукового ступеню	інженер- дослідник (магістр)	технік 1 категорії
1	2	3	4	5
1.Аналіз фахових публікації за темою	6	7	28	–
2. Обґрунтування мети та напрямів	2	1	11	–
3. Розробка методики проведення досліджень	3	2	14	8
4. Дослідження шліфів	–	1	20	14
5. Розробка технології	8	6	31	18
6. обговорення отриманих результатів	5	2	12	–
Всього	24	18	116	30

У випадку відсутності відповідних розрахункових методик трудомісткість різних етапів виконання НДР встановлюється на базі експертних оцінок, які дають провідні фахівці. При цьому НДР розглядається як сукупність макроетапів, аналіз кожної окремої операції не проводиться. Результати експертної оцінки трудомісткості етапів НДР наведені в таблиці 4.1.

Величина заробітної плати виконавців (ЗП) обчислюється як сума добутоків трудомісткості і денної заробітної плати кожного з них:

$$ЗП = 24 \cdot 516,23 + 18 \cdot 421,13 + 116 \cdot 0 + 30 \cdot 223,13 = 26663,76 \text{ грн.}$$

4.3.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску

Згідно з діючим законодавством єдиний соціальний внесок складає 22,0 % від заробітної платні.

$$B_c = 0,22 \cdot 26663,76 = 5866,03 \text{ грн.}$$

4.3.3 Визначення вартості матеріалів і напівфабрикатів для виконання НДР

Для виготовлення експериментальних зразків були необхідні наступні матеріали: чушки сплаву АК12М2МгН. Дані про вартість перелічених матеріалів наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Вартість основних матеріалів.

Найменування	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна, грн.	Сума, грн.
Сплав АК12М2МгН	кг	25	36	900
Нітрид титану	кг	3	40	120
Хлористий марганець	кг	3	114	342
Фторцирконат калію	кг	3	110	330
Всього				1692

Транспортно-заготовні витрати приймаємо у розмірі 10 % від вартості матеріалів, тоді загальна вартість використаних матеріалів (C_m) складає:

$$C_m = 1692 \cdot 1,1 = 1861,2 \text{ грн}$$

4.3.4 Визначення вартості спеціального обладнання і приладів

При виконанні НДР усі роботи проводилися з використанням лише наявного обладнання на кафедрі ливарного виробництва КПІ імені Ігоря Сікорського.

4.3.5 Визначення вартості робіт і послуг сторонніх організацій

У виконанні даної НДР сторонні організації участі не приймали.

4.3.6 Визначення витрат на службові відрядження

Усі роботи, пов'язані з виконанням НДР за даною темою, проведені на кафедрі ливарного виробництва КПІ імені Ігоря Сікорського. Окремі службові відрядження не планувались.

4.3.7 Визначення інших прямих неврахованих витрат

Інші прямі невраховані витрати ($C_{\text{інш}}$) плануються у розмірі 10 % від врахованих.

$$C_{\text{інш}} = 0,1 \cdot (26663,76 + 5866,03 + 1861,2) = 3439,1 \text{ грн.}$$

4.3.8 Визначення накладних витрат

До накладних витрат (H_B) відносяться витрати на заробітну плату адміністративно-управлінського, господарчого та допоміжного персоналу (разом з єдиним соціальним внеском), витрати на допоміжні виробництва, видатки на охорону праці, техніку безпеки та екологію, фінансування підготовки кадрів, воєнізованої охорони і деякі інші.

Норматив відррахувань на накладні витрати на кафедрі ливарного виробництва КПІ імені Ігоря Сікорського встановлений в розмірі 20 % планової

суми прямих витрат по темі НДР. Розраховуємо величину накладних витрат наступним чином:

$$H_B = 0,2 \cdot (26663,76 + 5866,03 + 1861,2 + 3439,1) = 7566,02 \text{ грн.}$$

4.3.9 Визначення планової кошторисної вартості НДР

Таблиця 4.3 – Калькуляція планової кошторисної вартості НДР за темою.

Найменування калькуляційних статей	Позначення	Сума	
		грн.	%
1	2	3	4
1. Загальна заробітна плата	ЗП	26663,76	58,73
2. Єдиний соціальний внесок	В _с	5866,03	12,92
3. Матеріали, необхідні для виконання НДР	С _м	1861,2	4,1
4. Спеціальне обладнання для наукових робіт	Соб	—	—
5. Робота і послуги сторонніх організацій	Сстор	—	—
6. Витрати на службові відрядження	Свід	—	—
7. Інші прямі невраховані витрати	Сінш	3439,1	7,58
8. Накладні витрати	Н _в	7566,02	16,67
Всього		45396,11	100

Планова кошторисна вартість НДР визначається як сума витрат за окремими статтями вартості. Результати визначення вартості наведені у таблиці 4.3.

Згідно з таблицею 4.3 загальна планова кошторисна вартість НДР складає:

$$B_{\text{НДР}} = 45396,11 \text{ грн.}$$

4.4 Визначення очікуваних результатів НДР та розрахунок показників економічної ефективності

Дослідження, що проводяться в даній роботі, мають пошуковий та теоретичний характер. Відповідно з цим прямий розрахунок очікуваного річного економічного ефекту надзвичайно складний, оскільки відсутні повні дані відносно сфери використання результатів роботи, а також вихідні дані для розрахунку одночасних та поточних витрат. У такому випадку слід використовувати бальну систему оцінки економічної ефективності за наступними показниками:

- важливість розробки;
- можливість використання результатів;
- теоретичне значення та рівень новизни дослідження;
- складність отриманої розробки.

Частку сумарного річного економічного ефекту, що утвориться за кожною з перелічених шкал, позначають умовно відповідним номеру шкали коефіцієнтом (K_1 , K_2 , K_3 , K_4). Наведемо докладніше систему оцінки за кожною шкалою. Першою розглянемо шкалу важливості розробки.

Коефіцієнт K_1 може приймати наступні значення:

- ініціативна робота, яка не входить до складу комплексної програми та не є завданням директивних органів – 1 бал;
- робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво – 3 бали;
- робота являє собою частину відомчої програми – 5 балів;
- робота являє собою частину комплексної міжвідомчої програми з елементами впровадження результатів – 7 балів;
- робота є частиною міжнародної комплексної програми – 8 балів.

Коефіцієнт K_2 може приймати такі значення:

- результати розробки можна використати тільки в даному підрозділі – 1 бал;

- результати розробки можуть бути використані тільки однією організацією – 3 бали;

- результати розробки можуть бути використані багатьма організаціями – 5 балів.

- результатами розробки можуть користуватися споживачі в межах однієї галузі – 8 балів;

- результатами розробки можуть користуватися споживачі в різних галузях – 10 балів.

Коефіцієнт K_3 може приймати такі значення:

- робота являє собою аналіз, узагальнення або класифікацію відомої інформації, подібні результати раніше були відомі в досліджуваній галузі – 2 бали;

- під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів – 3 бали;

- внаслідок виконання роботи отримана нова інформація, яка частково змінює уявлення про природу досліджуваних процесів – 5 балів;

- внаслідок виконання НДР створені нові теорії, методики або що-небудь подібне - 6 балів;

- отримана інформація формує принципово нові уявлення, які не були відомі раніше – 8 балів.

Коефіцієнт K_4 може приймати такі значення:

- роботу виконує один підрозділ, витрати до 10000 гривень – 1 бал;

- роботу виконує один підрозділ, витрати від 10000 до 50000 гривень – 3 бали;

- роботу виконує один підрозділ, витрати від 50000 до 100000 гривень – 5 балів;

- робота виконується багатьма підрозділами, витрати від 100000 до 200000 гривень – 7 балів;

- робота виконується багатьма організаціями, витрати більше 200000 гривень – 9 балів.

Бальна оцінка економічної ефективності даної науково-дослідної роботи наведена у табл. 4.4.

В нашому випадку бальна оцінка ефективності (Б) (згідно табл. 4.4) становить:

$$Б = 5 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 5 = 375$$

Таблиця 4.4 – Бальна оцінка ефективності НДР.

Показники оцінки ефективності	Умовне Позначення	Характеристика даної розробки	Кількість балів
1. Важливість розробки	K_1	Робота являє собою частину відомчої програми	5
2. Можливість використання результатів розробки	K_2	Результати розробки можуть бути використані багатьма організаціями	5
3. Теоретична значимість та рівень новизни розробки	K_3	Отримання нової інформації, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів та була невідома раніше	3
4. Складність дослідження	K_4	Робота виконується одним підрозділом, витрати до 100000грн.	5

Умовний річний економічний ефект науково-дослідницької роботи ($E_{\text{ндр}}^y$) визначається :

$$E_{\text{ндр}}^y = 500 \cdot B - E_H \cdot B_{\text{ндр}} \quad (4.1)$$

де 500 – умовна вартість одного балу, грн.;

E_H – нормативний коефіцієнт економічної ефективності ($E_H = 0,15 \div 0,50$, для нашого розрахунку обираємо $E_H = 0,25$);

$B_{\text{ндр}}$ – витрати на виконання НДР (планова річна кошторисна вартість виконання НДР, для нашого розрахунку $B_{\text{ндр}} = 45396,11$ грн.).

Таким чином, умовний економічний ефект відповідно (4.1) становить:

$$E_{\text{ндр}}^y = 500 \cdot 375 - 0,25 \cdot 45396,11 = 176150,97 \text{ грн.}$$

Коефіцієнт економічної ефективності :

$$E_{\text{ндр}} = E_{\text{ндр}}^y / B_{\text{ндр}} \quad (4.2)$$

$$E_{\text{ндр}} = 176150,97 / 45396,11 = 3,88$$

Отримана розрахункова величина коефіцієнта економічної ефективності НДР ($E_{\text{ндр}} = 3,88$) свідчить про доцільність виконання даної роботи.

4.5 Висновки до розділу 4

1. Розрахована планова кошторисна собівартість проведення даної НДР з урахуванням всіх видів витрачених ресурсів.
2. Обґрунтована актуальність та економічна доцільність проведення даної роботи.

5 БІЗНЕС-ПРОЕКТ

5.1 Склад команди

Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Інженерно-фізичний факультет. Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів.

Лідер команди:

Нечипоренко І.В. (студент)

Генератор ідей:

Гурія І.М. (к.т.н., доцент)

Опонент:

Ямшинський М.М. (к.т.н., доцент)

Маркетолог:

Войтюк Р.Ю. (студент)

Технолог:

Антоненко А.І. (студент)

5.2 Назва проекту

«Технологія виготовлення поршнів зі сплаву АК12М2МгН»

5.3 Короткий опис проекту

Застосування розробленої технології виготовлення поршнів зі сплаву АК12М2МгН, вирішує наступні задачі:

- зниження браку власного виробництва;
- підвищення використання звороту власного виробництва;
- підвищення економічної ефективності використання сплаву АК12М2МгН.

Дана технологія дозволяє суттєво підвищити рівень виробництва виливків, зникає необхідність у використанні первинних матеріалів під час шихтування.

Основне застосування – поршні для двигунів внутрішнього згорання, які володіють унікальними технологічними властивостями.

5.4 Бізнес-модель

5.4.1 Цінний продукт

- Технологія виготовлення поршнів зі сплаву АК12М2МгН;
- налагодження технологічного процесу ;
- сервіс.

5.4.2 Сегмент споживачів

Працюючі компанії виготовлення поршнів і автомобілебудування із алюмінієвих сплавів:

- ТОВ «БІОЛ»;
- ТОВ «Полімет»;
- ТОВ «Гриль-газ»;
- ПАТ «Полтавський турбомеханічний завод».

5.4.3 Канали збуту

Використовуються прямі канали збуту. Безпосередній контакт з потенційними покупцями через візити на підприємства та презентації товару. Контакт через тематичні та галузеві виставки та конференції. Збут через інтернет- ресурси (інтернет-магазин).

5.4.4 Взаємодія із споживачами

З конкретним споживачами – особисті контакти, по телефону, електронній пошті. Застосування програм лояльності.

Із потенційними споживачами – підтримка інформаційних інтернет-ресурсів: сайт проекту, блог новин проекту, виставки, конференції.

5.4.5 Прибуток (монетизація)

Отримання прибутку від продажу технології виготовлення поршнів, налагодження технологічного процесу та подальшого сервісу.

5.4.6 Ключові види діяльності

- 1) Наукова діяльність.
- 2) Розробка технології.
- 3) Маркетингова діяльність.

5.4.7 Ключові ресурси

Технологія виробництва. Охоронні документи (патенти). Науково-технічні працівники.

5.4.8 Ключові партнери

Партнери з надання логістичних послуг – Асоціація «Український логістичний альянс», ТОВ «Авангард логістик».

Партнери з надання маркетингових послуг – ТОВ «Kiev Leading Media», ТОВ «SEO – studio».

Підприємство, яке надає виробничу базу – ТОВ «Інвестиції третього тисячоліття».

5.4.9 Витрати

Витрати на оренду промислових потужностей. Витрати на ресурсозабезпечення, логістику, маркетинг, підтримку інтернет-ресурсів.

5.5 Споживчі властивості товару

Використання даної технології дозволяє знизити кількість браку власного виробництва, зниження потреб електроенергії на виготовлення партії виливків. Виробника робить більш конкурентноспроможним на ринку з іншими підприємствами.

5.6 Дослідження ринку

За результатами аналізу існуючого ринку продукції аналогічного призначення можна зробити висновок, що:

- річний світовий обсяг виробництва виробів аналогічного призначення становить близько 150 млн. \$;
- основними матеріалами для виробництва виробів аналогічного призначення є сплав АК12ММгН, АК10М2МгН;
- технології, які використовуються на сьогодні для виробництва виробів аналогічного призначення програють за показниками економічності та експлуатаційними показниками розроблених технологій.

5.7 Дослідження конкурентного оточення

Вироби аналогічного призначення виробляють підприємства як України так і за кордоном. Було проаналізовано продукцію підприємств України, країн СНД та КНР, як найбільш вірогідних конкурентів. Переваги нашого продукту за якістю та економічністю наразі дозволяють йому зайняти свою нішу на ринку аналогічних продуктів.

Ймовірні конкуренти:

- В Україні: ТОВ «БІОЛ», ТОВ «Полімет»;
- За кордоном: ТОВ «Тефаль».

5.8 Маркетингова стратегія просування

Маркетингова стратегія просування проекту складатиметься з:

- просування проекту в мережі Internet;
- участі у галузевих виставках та конференціях;
- проведення презентацій для потенційних покупців;
- зустрічей безпосередньо на підприємствах, які користуються запропонованою продукцією;
- поступовим опануванням ринку України та виходом на міжнародний ринок.

5.9 Елементи фінансового плану

5.9.1 Опис бізнес – проекту

Мета проекту – отримання прибутку шляхом продажу технології виготовлення поршнів зі сплаву АК12М2МгН.

Актуальність проекту – оскільки на території України відсутнє виробництво первинного алюмінію, а для виготовлення виливків використовують брухт і відходи, то для боротьби із згубним впливом заліза і креїнія розробляють нові технології, які б збільшили отримання бездефектних поршнів. З метою вирішення зазначених проблем розроблено дану технологію виготовлення поршнів за допомогою способу введення ультрадисперсних частинок нітридів і карбонітридів в металевий розплав за допомоги механічної суміші фторцирконату калію й нітриду, і сплавленої суміші фторцирконату калію, хлориду марганцю й нітриду титану.

5.9.2 Опис товару/ послуги/ технології

Спосіб введення ультрадисперсних частинок нітридів і карбонітридів в металевий розплав за допомоги механічної суміші фтортитанату калію і нітриду, і сплавленої суміші фторцирконату калію, хлориду марганця і нітриду титану.

5.9.3 Маркетинг та продаж

Цільовий сегмент – B2B. Виробники поршнів і низько-, середньо відповідальних виливків на території України та СНД.

Маркетингова стратегія просування проекту включає в себе:

- просування проекту в мережі Internet;
- участь у галузевих виставках та конференціях;
- проведення презентацій для потенційних покупців.

Для продажу застосовуються прямі канали збуту:

- безпосередній контакт з потенційними покупцями;
- збут через інтернет-ресурси.

5.9.4 Фінансовий план.

На поточному етапі існування проекту фінансовий план у необхідному обсязі не прораховувався. Однак, розраховано, що заплановані інвестиції для впровадження у виробництво та виробництва готових виробів в межах одного підприємства-виробника становлять:

- | | |
|--|-----------|
| – оренда промислових потужностей: | 10 000 \$ |
| – відпрацювання технології в умовах виробництва: | 3 000 \$ |
| – ресурсозабезпечення: | 2 000 \$ |
| – затрати на логістику, маркетинг, з/п: | 5 000 \$ |

Поточна ситуація по проекту:

- проект на стадії відпрацювання та удосконалення технології в лабораторних умовах;
- в наявності є дослідні зразки;
- отримані патенти на корисні моделі.

5.9.5 Резюме

Проект призначений для вирішення проблеми впливу домішок, головним чином – заліза і кремнію, у сплаві АК12М2МгН на утворення дефектів у поршнях, з можливістю збільшення отримання бездефектних поршнів з підвищеними механічними властивостями за допомогою способу введення ультрадисперсних частинок нітридів і карбонітридів в металевий розплав за допомоги механічної суміші фторцирконату калію й нітриду, і сплавленої суміші фторцирконату калію, хлориду марганцю й нітриду титану.

Заплановані інвестиції для впровадження у виробництво на одному підприємстві становлять 2 000 \$.

Бізнес-модель до даного проекту зображено на рис. 5.1.

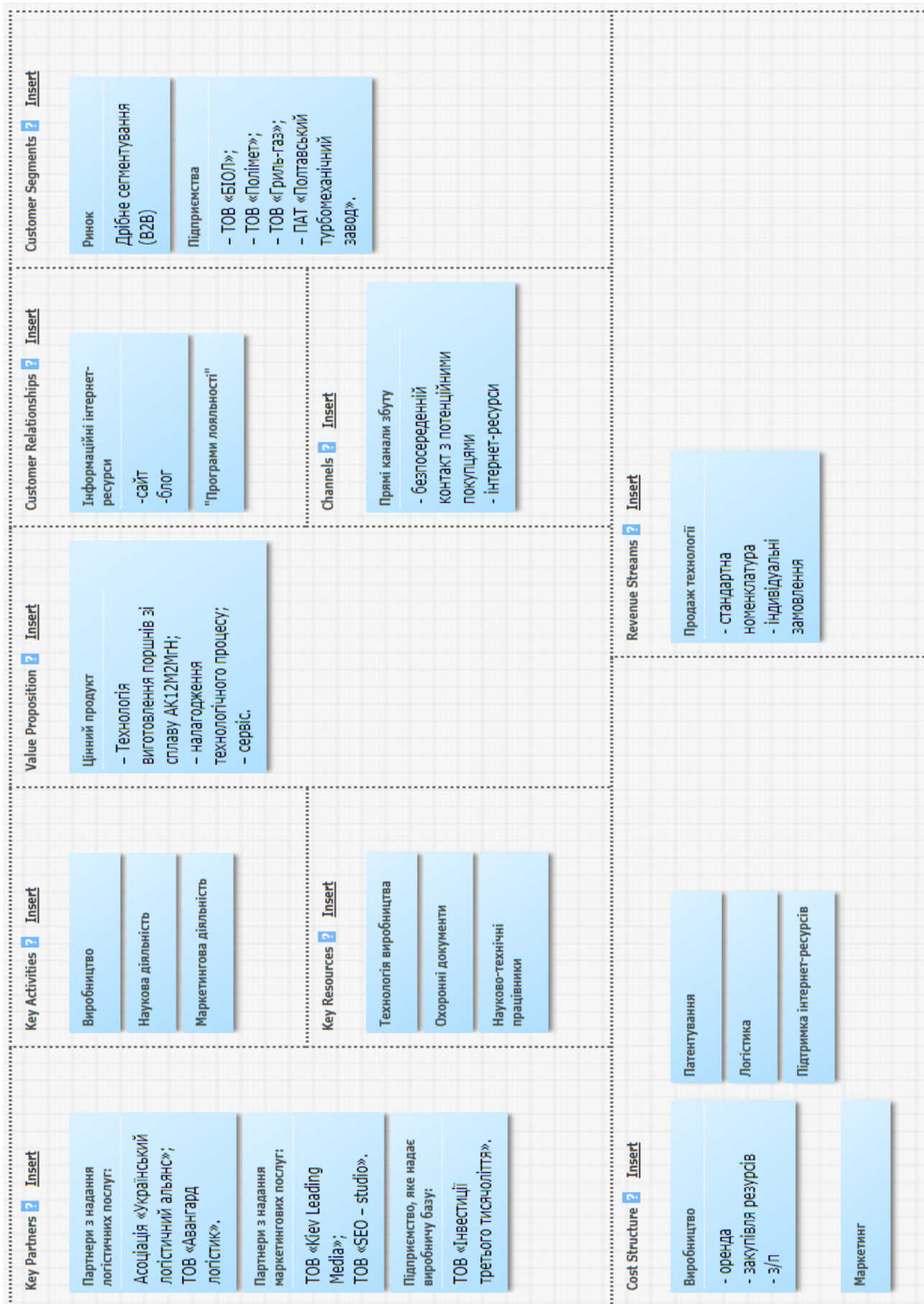


Рисунок 5.1 – Бізнес-модель.

5.10 Висновки до розділу 5

1. В роботі досліджено можливість ринкової комерціалізації проекту.
2. Розроблена технологія є перспективною для впровадження у виробництво оскільки вона економічно вигідніша на відміну від технологій, які представленні на ринку.
3. Визначено загальні напрями використання та проаналізовано ринкові можливості щодо реалізації бізнес-проекту.

ВИСНОВКИ

1. Поетапним аналізом технологічного процесу виготовлення поршня виявлено недоліки технологічного процесу.
2. Запропоновано спосіб приготування модифікатора для модифікування сплаву, який являє собою механічну суміш, що складається з 97 мас. частинок фторцирконату калію та 360 мас. частинок нітриду титану.
3. Досліджено вплив кількості доданого модифікатора на механічні властивості сплаву. Установлено, що для стабілізації твердості і підвищення механічних властивостей сплаву доцільно додавати модифікатор в кількості 0,5...0,7 % від маси розплаву.
4. Запропоновано комплексний модифікатор для сплаву АК12М2МгН, що представляє собою сплавлену суміш, що складається з 6...10 мас. % нітриду титану, 40...45 мас. % хлористого марганцю, 52...45 мас. % фторцирконату калію. Для забезпечення оптимальних властивостей сплаву АК12М2МгН модифікатор додається в кількості 0,5...0,7 % від маси розплаву.
5. Запропоновано технологію оброблення розплаву.
6. Розрахована планова кошторисна собівартість проведення даної НДР з урахуванням всіх видів витрачених ресурсів та обґрунтована актуальність та економічна доцільність проведення роботи.
7. Створено бізнес проект для впровадження даної технології виробництва поршнів.

РЕКОМЕНДАЦІЇ

Для виготовлення високоякісних виливків необхідно:

1. Перевіряти та налагоджувати обладнання лабораторії підприємства для ретельної перевірки відповідності хімічного складу вихідних шихтових матеріалів до супровідної документації та ДСТУ 2839-94. Проводити додатковий контроль хімічного складу вихідних шихтових матеріалів.
- 2 Використати рекомендований комплексний модифікатор у кількості 0,5...0,7 % від маси розплаву.
3. Проводити обов'язковий контроль температури перегрівання та заливання розплаву в металеву форму.
4. Наносити теплоізоляційне покриття після 15 заливань.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Николаенко А.В. Комплексный подход к созданию и организации производства поршней дизельных двигателей из быстрозакристаллизованных заэвтектических силуминов / А.В. Николаенко, Ю.Г. Калпин, Т.С. Басюк [и др.] // Изв. ТулГУ. Техн. науки. 2013. Вып. 3, № 1. С. 603 – 617.
2. Абрамчук Ф.Г. Автомобільні двигуни / Ф.Г. Абрамчук, Ю.Ф. Гугаревич, К.Є. Долгунов, І.І. Тимченко. – К.: Арістей, 2006. – 476с.
3. Афанасьев В.К. и др. Поршневые силумины. – Кемерово: Полиграф, 2005. – 162 с.
4. Строганов Г.Б. Сплевы алюминия с кремнием / Г.Б. Строганов, Б.А. Ротенберг, Г.Б. Гершман – М. : Металлургия, 1977. – 272 с.
5. Мальцев М.В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов., 2-е изд. Изд-во «Металлургия», 1970. – 364 с.
6. Белов В.Д. Разработка состава и технологии изготовления прутковых фосфорсодержащих лигатур для модифицирования поршневых силуминов. Тезисы доклада. Словакия. Братислава. Международная конференция / В.Д. Белов, М.В. Белов, Э.Б. Тен (МИСиС, Москва), К.Х. Ким (Корея, SUNGHOONCo.). «Технология – 2005». 1962. – 64 с.
7. Воронов С.М. Избранные труды по легким сплавам. – М.: Оборон-издат, 1957.
8. Хрущева К. М. Материалы для поршней автотракторных двигателей / К.М. Хрущева, Ю.Я. Зильберг, Т.Б. Гершман Т.Б. Труды НАТИ. Вып.151,1963.
9. Колобнев И.Ф. Основные принципы легирования литейных алюминиевых сплавов в зависимости от рабочей температуры и области их применения – В сб.: Литейные сплавы. – М.: Оборониздат, 1961.
10. Курдюмов А.В. Производство отливок из сплавов цветных металлов / А.В.Курдюмов, М.В.Шикунов, В.М.Чурсин [и др.] – М.: металлургия, 1996. – 416 с.

11. Мальцев М.В. Модифицирование структуры металлов и сплавов. Металлургия, 1964. – 214 с.
12. Мартин Дж.У. Микромеханизмы дисперсионного твердения сплавов. — М.: Металлургия, 1963. – 167 с.
13. Боом Е.А. Природа модифицирования сплавов типа силумин. Металлургия, 1972. – 69 с.
14. Хохдов В.М. Производство литейных алюминиевокремниевых сплавов. М.: Металлургия, 1989. – 67 с.
15. Пархутик П.А. Структура и свойства металлов и сплавов / П.А. Пархутик, Л.Д. Калашник, М.З. Дубензкий – М.: Наука и техника, 1974. – 275 с.
16. Кузнецов Г.М. и др Методы и теории модифицирования заэвктических силуминов . В сб. "модифицирование силуминов". – К.: 1970. – 295 с.
17. Смирнова Т.И. Модифицирование заэвктических силуминов. В сб. "Модифицирование силуминов". – К.: 1970. – 185 с.
18. Свойства, получение и применение тугоплавких соединений. Справ.изд. под ред. Т.Я. Косолаповой –М.: Металлургия, 1986. – 928 с.
19. Малиновский Р.Р. О механизме зародышеобразования при кристаллизации алюминиевых сплавов. –Технология легких сплавов. ВИС, 1981, № 6, 17 – 21 с.
20. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1979. – 640 с.
21. Крушенко Г.Г. Измельчение структуры легатурного сплаве алюминий-титан. В сб : Тезисы докладе 3-й краевой научно-технической конференции. Актуальные вопросы технологии, совершенствования и модернизации оборудования литейного производства в крае / Г.Г. Крушенко, Б.А. Балашов, И.С. Ямских Красноярск , 1983. – 119 с.
22. Тортилова С.И.,Балашов Б.А. Модифицирование алюминия и его сплавов кристаллическими ультрадисперсными порошками с целью получения качественных отливок. В сб.: Тезисы доклада респ, научно-техн. конференции

Современная технология получения малопористых отливок и слитков из цветных сплавов. – К.: 1963. – 120–122 с.

23. Торшилова С.И., Балашов Б.А. Совершенствование технологии галлургической обработки алюминиевых сплавов применением новых модификаторов. В сб.: Тезисы докл.3-й краевой научно-технической конференции "Актуальные вопросы технологии, совершенствования и модернизации литейного производства в крае". Красноярск, 1983. – 127 – 128 с.

24. Торшилова С.И., Балашов Б.А. Модифицирование алюминий-кремниевых сплавов порошкообразными добавками. В сб.: Тезисы докладов 2-й Всесоюзной научной конференции. Закономерности формирования структуры сплавов эвтектического типа Днепропетровск, 1982. – 137 – 138 с.

25. Побежилова П.И. Свойства алюминиевых сплавов с карбидными частицами. В сб.: Тезисы докл. республ.науч.-техн. конф. Современная технология получения мало пористых отливок и слитков из цветных металлов / П.И. Побежилова, В.Н. Супрун, В.П. Соловьев [и др] – К.:1983. – 126 – 129с.

26. Альтман М.Б. Плавка и литье алюминиевых сплавов: Справ. изд. / М.Б. Альтман, М.Б. Андреев, Г.А. Балаховцев [и др.] –2-е изд. перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1963. – 329 с.

27. Королев М.Л. Азот как легирующий элемент стали. –М.: Металлургия, 1961. – 167 с.

28. Клячко Ю.А. Анализ газов и включений в стали. – М.: Металлургия 1953. – 643 с.

29. Дьяченко Л.И., Погодина-Алексеева К.П. Влияние легирования азотом на свойства сплава АЛ4. Литейное производство, 1970, №2, с.24 – 25.

30. Воздвиженский Б.И. Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении. –М.: Машиностроение, 1984. – 216 с.

31. Додник И. Г. Механические испытания металла. – К.: Наукова думка, 1972. – 22 с.

32. Постников Н.С., Черкасов В.В. Прогрессивные методы плавки и литья алюминиевых сплавов. –М.: «Металлургия», 1973. – 224 с.

33. Альтман М.Б. – «Технология легких сплавов» / М.Б. Альтман, А.М. Босов, В.Д. Жуков, 1970. №3, с. 12 – 14.
34. Пименов Ю.П. – «Технология легких сплавов», 1969, №2, с.66 – 67.
35. Белов Н. А. Поршневые силумины / Н.А. Белов, В.Д. Белов, С.В. Савченко, М.Е. Самошина, В.А. Чернов, А.Н. Алабин, ИД «Руда и Металлы», 2011. – 248 с.

Додаток А

ТЕХНОЛОГІЧНА ІНСТРУКЦІЯ

НА ПЛАВКУ, РАФІНУВАННЯ І МОДИФІКУВАННЯ ПОРШНЕВОГО

СПЛАВУ АК12М2МГН

1 Основні положення

1.1 Активація процесів гетерогенного зародкоутворення шляхом введення в металевий розплав або створення в його об'ємі готових центрів кристалізації у вигляді дисперсних частинок тугоплавких слаботорозчинних з'єднань є ефективним засобом поліпшення властивостей литого металу. За порівняння з іншими методами впливу на кристалізуючийся метал модифікування тугоплавкими частинками дозволяє досить надійно прогнозувати кінцеві результати і забезпечує їх стабільність і високий рівень при відносно невеликих витратах.

1.2 Хімічний склад сплаву АК12М2МГН наведено в таблиці 1.

Таблиця А.1 – Хімічний склад сплаву АК12М2МГН.

Марка сплава	Хімічний склад, % за масою								
	Si	Cu	Ni	Mg	Mn	Ti	Fe	Cr	Al
АК12М2МГН	11,0... 13,0	1,5... 3,0	0,8...1,3	0,8...1,3	0,3...0,6	0,05... 0,2	0,8	0,2	Решта

1.3 Механічні властивості сплаву АК12М2МГН наведені в таблиці 2.

Таблиця А.2 – Механічні властивості сплаву АК12М2МГН.

Марка сплава	Механічні властивості		
	Тимчасовий опір розриванню, МПа	Відносне видовження, %	Твердість по Бринелю, НВ
АК12М2МГН	190 – 210	0,2 – 0,7	90 – 100

2 Виготовлення футерівки

2.1 Виготовлення набивної суміші:

- пісок кварцовий – 78 мас.%;
- пилоподібний кварц – 20 мас.%;
- борна кислота – 2 мас. %.

2.1.2 Кварцовий пісок повинен містити не менше 95 % SiO_2 і сторонніх домішок не більше: Al_2O_3 – 1,5 %; Fe_2O_3 – 1,0 % і CaO – 1,0 %. Перед вживанням кварцовий пісок прожарити при температурі 650...700°C протягом 2-х годин і просіяти через сито з коміркою 1 мм.

2.1.3. Борна кислота вводиться як плавень для забезпечення спікання тигля. Перед застосуванням просушити її при температурі 150...200°C протягом 2...3 годин і просіяти через сито з коміркою 1 мм.

2.1.4. Пилоподібний кварц прожарити при температурі 800...850°C протягом 2...3 годин.

2.1.5 Складові компоненти суміші засипати в металевий ящик і ретельно перемішати.

2.2. Порядок роботи при футерівці.

2.2.1 Підготовка плавильного індуктора.

Індуктор звільняється від старої футерівки, очищається від пилу і перевіряється на герметичність водою під тиском 4...5 кг/см².

2.2.2 Виконання ізоляції тигля.

Внутрішню порожнину індуктора і дно викласти заготовками листового азбесту. Загальна товщина ізоляції повинна бути 6...10 мм. У місцях з'єднання краю азбесту накладаються один на одного на 40...60 мм. Нижні краї азбестових листів відбортовуються всередину тигля. Листи повинні щільно прилягати до стінок індуктора.

2.2.3 Набивання футерування днища тигля.

На дно тигля насипати суміш шаром 30...40 мм, розрівняти її і утрамбувати ручної плоскою трамбівкою. Після ущільнення першого шару злегка розпушити

його поверхню, насипати другий шар і так далі до повної товщини дна тигля. Набивання дна тигля виробляти до другого або третього витка індуктора. Набивати тигель слід ударами середньої сили. Занадто щільна набивка тигля перешкоджає росту зерен кварцу при спіканні і тигель може дати тріщини від внутрішніх перенапруг. Слабка набивка може бути причиною поганого спікання тигля.

При набиванні стежити за тим, щоб в масу не потрапило азбестове волокно.

2.2.4 Встановлення шаблону.

Як шаблон при плавці кольорових металів рекомендуємо застосовувати графітовий тигель. Перед встановленням тигля в піч його необхідно прожарити, підвищуючи температуру з 50...60 до 800°C протягом 2 годин. Охолоджувати разом з піччю до температури 200°C, потім на повітрі. Шаблон встановити таким чином, щоб його верхня кромка знаходилася на 10..15 мм вище верхнього витка індуктора і бокова поверхня рівномірно відстояла від внутрішньої поверхні азбестової обкладки. Рівномірність відстані досягається за допомогою рівномірного встановлення по колу трьох дерев'яних клинів.

2.2.5. Набивка стінки тигля.

Зазор між азбестового ізоляцією і шаблоном пошарово заповнюють набивочною сумішшю шаром 30...40 мм і ущільнюють плоскою трамбовкою вручну. Перед кожним засипанням нового шару поверхню набитого шару необхідно розпушити.

Дерев'яні клини вийняти після набивання стінок тигля на 1/2 своєї висоти. Набивка стінок тигля проводиться до рівня верхньої кромки тигля.

2.2.6 Виготовлення «коміра» тигля.

Після закінчення набивання стінок укласти шамотні цеглини, зливний носок, зробити обмазку «коміра» тією ж сумішшю. При цьому слід звернути особливу увагу на щільне з'єднання коміра тигля з раніше набитими стінками. Не допускати нависання «коміра» над шаблоном.

2.2.7 Сушка тигля.

Для часткового закріплення обмазки тигля, тигель витримати після набивання і обмазки 2...3 години при температурі цеху.

2.2.8 Закріплювальна плавка.

При закріплювальній плавці установку включають на невелику потужність (20...15% від номінальної потужності) і нагрівають шихту до 300...400 °С, підтримуючи цю температуру 3...4 години до повного зникнення парів з футерівки. Поступово збільшити потужність на індукторі до максимальної, зробити повне розплавлення шихти і вилити розплав в виливниці.

2.2.9. Догляд за тиглем.

При роботі печі тигель повинен оглядатися після кожної плавки. При виявленні дефектів в набивном тиглі і обмазці зробити їх замазку тим же складом. Після прогорання графітового тигля він видаляється разом з набивним тиглем і проводиться футерування по новому.

2.3 Допускається виготовлення футерівки індукційної печі згідно існуючої на заводі інструкції.

3 Складання шихти

3.1 В якості шихтових матеріалів необхідно використовувати вторинний сплав в чушках АК12М2МгН, а також зворот власного виробництва.

3.2. Кількість звороту власного виробництва в шихті не повинна перевищувати 50 %.

4 Технологічний процес плавки

4.1 Підготовка обладнання, робочого інструменту і матеріалів до роботи.

4.1.1. Оглянути тигель і визначити його придатність для ведення плавки. Оглядає майстер або плавильщик.

4.1.2. Провести перевірку роботи схеми управління, сигналізації, системи охолодження і механізму нахилу печі. Виконує електрик і плавильщик.

4.1.3 Очистити кіш, счіщалку, дзвіночок і тигель роздавальної печі від бруду та шлаку.

4.1.4. Провести забарвлення плавильного інструменту захисною фарбою одного з таких складів:

г) 50 ваг.ч крейди (відмученої), 50 ваг.ч окису цинку, 5 ваг.ч рідкого скла, 100 ваг.ч гарячої вод;

б) 20...35 % графітового порошку, просіяного через сито №063, 5 % рідкого скла, решта – вода;

в) 50 ваг.ч глини, 5 ва.ч рідкого скла, 45 ваг. ч води.

Для приготування фарб нагріти воду до 70...75 °С і розділити на дві частини: в 1/3 об'єму води замішують рідке скло, в решту води, що залишилася вводять сипучі складові (крейда, графіт і ін.), розмішують і фільтрують через сито № 1. До профільтрованої рідини додають розчин рідкого скла, перемішують і кип'ятять. Тиглі і плавильний інструмент перед фарбуванням нагрівають до 150...250 °С, а після фарбування – до 200...300 °С.

4.1.5 Провести підготовку шихтових матеріалів до плавки.

4.2 Плавка, рафінування і модифікування металу.

4.2.1 Завантажити в піч шихтові матеріали, попередньо очистивши їх від бруду і масла. Очищення проводити дрантям і металевією щіткою.

4.2.2 Включити піч, поступово піднімаючи навантаження до максимального.

4.2.3 Після розплавлення всієї шихти довести температуру розплаву до 730...740 °С і провести рафінування, для чого:

– зняти шумівкою шлак з поверхні металу;

– за допомогою дзвіночка на дно тигля ввести хлористий марганець в кількості 0,3% від маси шихти;

– розплаву діти відстоятися протягом 10...12 хв., після чого зняти шлак.

4.2.4. Довести температуру розплаву до 750...760 °С і провести модифікування, для чого:

– зчищалкою зняти шлак з поверхні металу;

- дзвіночком ввести модифікуючу суміш фторцирконату калію і нітриду титану (або карбонітриду титану) в кількості 0,5 - 0,7 % від маса шихти;
- після закінчення реакції взаємодії модифікуючої суміші з розплавом метал ретельно перемішати мішалкою;
- дати відстоятися розплав протягом 10 хв., після чого зняти з поверхні шлак.

4.2.5 У разі використання в складі шихти звороту власного виробництва в кількості не більше 30 % допускається не рафінувати розплав хлористим марганцем, так як при модифікуванні забезпечується достатній ступінь очищення розплаву від неметалевих включень і розчинених газів.

4.2.6 Довести температуру розплаву до технологічно необхідної і розлити його в роздаткові печі. Проміжний кіш і тигель роздавальної печі повинні бути прогріті до температури не менше 600°C.

4.2.7 Рафінування і модифікування сплаву АК12М2МгН допускається проводити в роздавальних печах за умови дотримання температурних режимів.

5 Матеріали

5.1 Для плавки сплаву, рафінування та модифікування необхідно використовувати такі матеріали:

- вторинні алюмінієві сплави в чушках АК12М2МгН;
- відходи власного виробництва;
- хлористий марганець;
- ультрадисперсні порошки нітриду або карбонітрида титану.

5.2 Модифікуючу суміш готувати ретельним перемішуванням 97 ваг.ч фторцирконату калію і 3 ваг.ч ультрадисперсного порошку нітриду титану.

6 Техніка безпеки

При плавці, рафінуванні і модифікуванні необхідно виконувати вимоги інструкцій з техніки безпеки, що існують на заводі.